

520,467

Rec'd PCT/PRO

07 JAN 2005

(12)特許協力条約に基づいて公開された国際出願

10/520467

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局(43) 国際公開日
2004年1月15日 (15.01.2004)

PCT

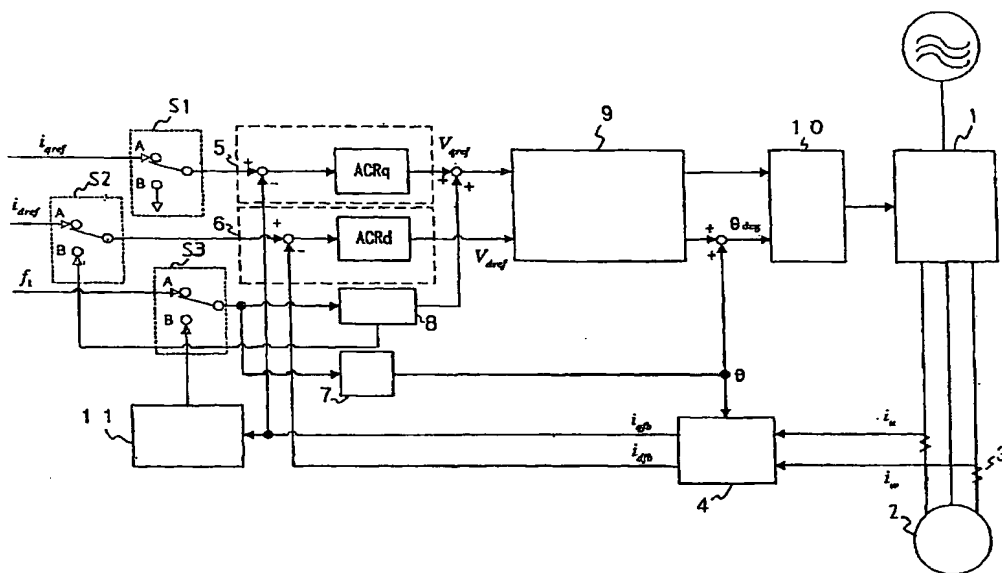
(10) 国際公開番号
WO 2004/006424 A1

- (51) 国際特許分類: H02P 21/00, 5/41
(21) 国際出願番号: PCT/JP2003/008423
(22) 国際出願日: 2003年7月2日 (02.07.2003)
(25) 国際出願の言語: 日本語
(26) 国際公開の言語: 日本語
(30) 優先権データ:
特願2002-198712 2002年7月8日 (08.07.2002) JP
特願2002-315177
2002年10月30日 (30.10.2002) JP
特願2003-121733 2003年4月25日 (25.04.2003) JP
(71) 出願人 (米国を除く全ての指定国について): 株式会社
安川電機 (KABUSHIKI KAISHA YASKAWA DENKI)
[JP/JP]; 〒806-0004 福岡県北九州市八幡西区黒崎城石2番1号 Fukuoka (JP).
- (72) 発明者; および
(75) 発明者/出願人 (米国についてのみ): 井浦 英昭
(IURA, Hideaki) [JP/JP]; 〒806-0004 福岡県北九州市八幡西区黒崎城石2番1号 株式会社安川電機内 Fukuoka (JP). 野中 和浩 (NONAKA, Kazuhiro) [JP/JP]; 〒806-0004 福岡県北九州市八幡西区黒崎城石2番1号 株式会社安川電機内 Fukuoka (JP). 寺園 裕一 (TERAZONO, Yuichi) [JP/JP]; 〒806-0004 福岡県北九州市八幡西区黒崎城石2番1号 株式会社安川電機内 Fukuoka (JP). 山本 陽一 (YAMAMOTO, Yoichi) [JP/JP]; 〒806-0004 福岡県北九州市八幡西区黒崎城石2番1号 株式会社安川電機内 Fukuoka (JP). 末島 賢志 (SUESHIMA, Kenji) [JP/JP]; 〒806-0004 福岡県北九州市八幡西区黒崎城石2番1号 株式会社安川電機内 Fukuoka (JP). 寺園 勝志 (TERAZONO, Katsushi) [JP/JP]; 〒806-0004 福岡県北九州市八幡西区黒崎城石2番1号 株式会社安川電機内 Fukuoka (JP). 沢村

[続葉有]

(54) Title: AC GENERATOR SENSOR-LESS VECTOR CONTROL METHOD AND CONTROL DEVICE THEREOF

(54) 発明の名称: 交流電動機のセンサレスベクトル制御方法及びその制御装置



(57) Abstract: An AC generator sensor-less vector control method and control device thereof capable of smoothly re-starting an AC generator in a free run state. Upon re-starting an AC generator (2), if a current flowing in the AC generator (2) continues to flow at a predetermined current level or above for a predetermined time, it is judged that the rotation direction or speed estimation has been incorrect and a DC current or DC voltage is again applied to estimate the rotation direction and the speed of the AC generator (2).

(57) 要約: 本発明の課題は、フリーラン状態の交流電動機をスムーズに再始動することができる交流電動機のセンサレスベクトル制御方法及びその制御装置を提供する。本発明は、交流電動機(2)の再始動時に前記交流電動機(2)に流れる電流が設定した電流レベル以上の状態で設定した時間継続した場合

[続葉有]

WO 2004/006424 A1



光次郎 (SAWAMURA,Mitsujiro) [JP/JP]; 〒806-0004
福岡県 北九州市 八幡西区黒崎城石 2 番 1 号 株式会
社安川電機内 Fukuoka (JP).

(74) 代理人: 小栗 昌平, 外(OGURI,Shohei et al.); 〒107-
6028 東京都 港区 赤坂一丁目 1 2 番 3 2 号 アーク森
ビル 2 8 階 栄光特許事務所 Tokyo (JP).

(81) 指定国 (国内): CN, US.

(84) 指定国 (広域): ヨーロッパ特許 (AT, BE, BG, CH, CY,
CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IT, LU, MC,
NL, PT, RO, SE, SI, SK, TR).

添付公開書類:
— 国際調査報告書

2 文字コード及び他の略語については、定期発行される
各PCTガゼットの巻頭に掲載されている「コードと略語
のガイダンスノート」を参照。

明 細 書

交流電動機のセンサレスベクトル制御方法及びその制御装置

<技術分野>

本発明は交流電動機を始動する場合に、フリーラン状態の交流電動機の手速を推定して、推定した手速で運転することにより、スムーズに交流電動機を始動することを特徴とする交流電動機のセンサレスベクトル制御方法及びその制御装置に関する。

<背景技術>

特開 2 0 0 1 - 1 6 1 0 9 4 号公報記載の交流電動機の制御方法は本出願人によって成されたもので、交流電動機へ電力を出力する電力変換器を有し、電流指令信号と電力変換器の出力電流検出信号の偏差信号に基づいて、電力変換器の出力電流を制御する電流制御部を備え、速度検出器と電圧検出器を持たない交流電動機の制御方法であって、交流電動機へ電力を出力する電力変換器を有し、電流指令信号と前記電力変換器の出力電流検出信号の偏差信号に基づいて、前記電力変換器の出力電流を制御する電流制御部を備え、前記交流電動機がフリーラン状態にある場合に、設定した時間だけ任意の直流電流を供給し、前記電力変換器の出力電流検出信号に表れる周波数成分を検出し、この周波数成分から前記交流電動機の手速を推定するものである。

また、交流電動機がフリーラン状態にある場合に、前記交流電動機の手速をゼロにするように強制的に前記電流指令信号をゼロとして電流制御し、この時の前記電流制御部出力を用いて、演算する出力電圧指令信号を基に、前記交流電動機の手速電圧の大きさと位相および角速度を求めることにより、フリーラン状態の前記交流電動機の回転方向及び手速を推定することによりフリーラン状態の前記交流電動機をスムーズに始動する制御方法も開示されている。

また、前記電流指令信号をゼロとして電流制御した時の前記電流制御部出力を

用いて、演算する出力電圧指令信号が任意に設定した電圧レベルよりも低い場合には、電流制御することをやめ、任意の方向に任意の大きさの直流電流指令を設定された時間印加し、その後前記直流電圧の指令方向と 180° 位相を変えた方向に任意の大きさの電流指令を与え、設定された時間再び電流制御し、電流検出値に表れる周波数成分とその位相関係を検出し、この周波数成分を交流電動機の色度と推定して、位相関係からその回転方向を推定する制御方法が開示されている。

しかしながら、上記特開 2001-161094 号公報記載の方法において、前記交流電動機に残留電圧が大きく残っていた場合には、その残留電圧が影響して、実際の交流電動機の色度と異なる色度を推定してしまうことがある。この場合、電力変換器に推定した色度に相当する周波数を設定して始動すると、前記交流電動機が誤検出した色度に近づくように大きな電流が流れ、スムーズに再始動できなくなる場合があった。

電流制御器部の応答が悪い場合には、前記交流電動機の色度をゼロにすることが困難となり、前記電力変換器が過電流状態となり、スムーズに始動することができなかった。

また、前記交流電動機が誘導電動機の場合には、フリーラン中の残留電圧は次第に小さくなるため、誘導電動機の色度をゼロにすることが容易であるが、前記交流電動機が永久磁石同期電動機の場合には、高速でフリーランしている時には、大きな誘起電圧が発生し、永久磁石同期電動機の色度をゼロにすることは容易ではなかった。

さらに、前記交流電動機が高速でフリーランしている場合には、電流検出値に現れる周波数の検出分解能が粗くなったり、電流検出値に現れる周波数成分の信号の振幅が小さくなり、周波数を検出できなくなってしまった。

また、前述の特開 2001-161094 号公報記載の交流電動機の制御方法においては、交流電動機がフリーラン状態にある場合に任意の直流電流を設定した時間供給するとあるが、その設定時間の決定方法については何ら具体的に触れていない。

また、特願 2002-80891 号公報記載の交流電動機の制御方法は、周波

数調整回路に予め設定した周波数と検出した回転方向を設定し、トルク電流検出値を入力として、トルク電流検出値が正であれば、出力周波数を下げ、トルク電流検出値が負であれば、出力周波数を上げ、トルク電流検出値を0に近づけるように出力周波数を調整することにより、フリーラン状態の前記交流電動機と前記電力変換器の出力周波数を一致させスムーズに始動するようにしている。

しかしながら、この場合でも、トルク電流検出値を0に近づけるように出力周波数を調整したがスムーズに再始動できなくなる場合があった。

そこで本発明はこれらの課題を解決するもので、フリーラン状態にある交流電動機の再始動時における回転方向あるいは速度の推定を間違えた場合、これを誤推定と素早く判断できるようにしてフリーラン状態の交流電動機をスムーズに再始動することができ、

また、フリーラン状態にある交流電動機の再始動時に交流電動機に印加する直流電流の印加時間を正確に設定することにより、同じくフリーラン状態の交流電動機をスムーズに再始動することができる交流電動機のセンサレスベクトル制御方法及びその制御装置を提供することを第1の目的としている。

また、電流制御器部の応答が悪い場合、あるいは、前記交流電動機が誘導電動機だけでなく永久磁石同期電動機の場合であっても、确实、スムーズに運転継続することができる交流電動機のセンサレスベクトル制御方法及びその制御装置を提供することを第2の目的としている。

さらに、前記交流電動機の電流をゼロにするように強制的に前記電流指令信号をゼロとして電流制御する場合に、電流制御器の応答を高め、前記電力変換器が過電流状態とならないようにし、スムーズに運転継続できるようにすること、および交流電動機に直流電流指令を与え、前記交流電動機の色度及び回転方向を推定している時にも、前記交流電動機が高速でフリーランしている場合、周波数検出の精度を向上させること、そして交流電動機が高速でフリーランしている場合でも、スムーズに運転継続すること、以上の3点を行える交流電動機のセンサレスベクトル制御方法及びその制御装置を提供することを第3の目的としている。

<発明の開示>

上記の目的を達成するため、請求項 1 記載の交流電動機のセンサレスベクトル制御方法の発明は、交流電動機へ任意の電力を出力する電力変換器と、前記交流電動機に供給される電流を検出する電流検出回路と、前記交流電動機に供給される電流を励磁電流検出値とトルク電流検出値に変換して出力する座標変換回路と、前記励磁電流指令値と前記励磁電流検出値とが一致するように励磁電流方向電圧を制御する励磁電流制御回路と、前記トルク電流指令値と前記トルク電流検出値とが一致するようにトルク電流方向電圧を制御するトルク電流制御回路と、与えられた出力周波数指令から交流電動機の誘起電圧を演算する V/f 変換回路と、与えられた出力周波数指令を積分することにより得られる位相角を演算する位相角演算回路と、前記励磁電流制御回路と前記トルク電流制御回路と前記 V/f 変換回路から出力される電圧指令から出力電圧の大きさ及び位相を演算する出力電圧演算回路とを備え、前記出力電圧演算回路から出力する電圧の大きさと位相に前記位相角演算回路から出力される位相角を加え、前記電力変換器のスイッチングを決定する制御方法で、かつそのための速度検出器と電圧検出器を持たない交流電動機のセンサレスベクトル制御方法であって、フリーラン状態の前記交流電動機の始動する際に、前記交流電動機に直流電流あるいは直流電圧を印加し、その時流れる二次電流から前記交流電動機の回転方向及び速度を推定し、その回転方向及び速度に相当する周波数を周波数調整回路に設定して始動し、周波数調整回路により出力周波数を前記交流電動機の前記速度と一致させる制御方法において、前記周波数調整回路に設定した回転方向及び周波数が実際の交流電動機の回転方向及び速度と離れていることを前記交流電動機に流れる電流の大きさから推定することを特徴とする。

請求項 2 記載の発明は、請求項 1 記載の交流電動機のセンサレスベクトル制御方法において、前記周波数調整回路に設定した回転方向及び周波数が実際の交流電動機の回転方向及び速度と離れていることを推定する基準が、前記交流電動機に流れる電流の大きさが設定した電流のレベル以上の状態が設定した時間継続した場合とすることを特徴とする。

請求項 3 記載の発明は、請求項 1 又は 2 記載の交流電動機のセンサレスベクトル制御方法において、前記周波数調整回路に設定した回転方向及び周波数が実際の交流電動機の回転方向及び速度と離れていることを推定した後、前記交流電動機の再始動を中断し、再度前記交流電動機に直流電流あるいは直流電圧を印加し、その時流れる二次電流から前記交流電動機の回転方向及び速度を推定し直し、その回転方向及び速度に相当する周波数を周波数調整回路に再設定して再始動することを特徴とする。

請求項 4 記載の発明は、請求項 3 記載の交流電動機のセンサレスベクトル制御方法において、前記交流電動機に直流電流あるいは直流電圧を印加し、その時流れる二次電流から前記交流電動機の回転方向及び速度を推定し直す際に、その速度の推定値は、前回推定した速度よりも設定した速度だけ下げた値または周波数調整回路の最終出力値が上限値となるように推定して、その推定値に相当する周波数を周波数調整回路に設定して始動することを特徴とする。

請求項 5 の交流電動機のセンサレスベクトル制御装置の発明は、交流電動機へ任意の電力を出力する電力変換器と、記交流電動機に供給される電流を検出する電流検出回路と、前記交流電動機に供給される電流を励磁電流検出値とトルク電流検出値に変換して出力する座標変換回路と、前記励磁電流指令値と前記励磁電流検出値とが一致するように励磁電流方向電圧を制御する励磁電流制御回路と、前記トルク電流指令値と前記トルク電流検出値とが一致するようにトルク電流方向電圧を制御するトルク電流制御回路と、与えられた出力周波数指令から交流電動機の誘起電圧を演算する V/f 変換回路と、与えられた出力周波数指令を積分することにより得られる位相角を演算する位相角演算回路と、前記励磁電流制御回路と前記トルク電流制御回路と前記 V/f 変換回路から出力される電圧指令から出力電圧の大きさ及び位相を演算する出力電圧演算回路とを備え、前記出力電圧演算回路から出力する電圧の大きさと位相に前記位相角演算回路から出力される位相角を加え、前記電力変換器のスイッチングを決定する制御装置で、かつそのための速度検出器と電圧検出器を持たない交流電動機のセンサレスベクトル制御装置であって、フリーラン状態の前記交流電動機の始動する際に、前記交流電

動機に直流電流あるいは直流電圧を印加し、その時流れる二次電流から前記交流電動機の回転方向及び速度を推定し、その回転方向及び速度に相当する周波数を周波数調整回路に設定して始動し、周波数調整回路により出力周波数を前記交流電動機の速度と一致させる制御装置において、前記周波数調整回路に設定した回転方向及び周波数が実際の交流電動機の回転方向及び速度と離れていることを前記交流電動機に流れる電流の大きさから推定する誤設定推定手段を備えたことを特徴とする。

請求項 6 記載の発明は、請求項 5 記載の交流電動機のセンサレスベクトル制御装置において、前記誤設定推定手段が前記交流電動機に流れる電流の大きさから誤設定と推定する基準が、前記交流電動機に流れる電流の大きさが設定した電流のレベル以上の状態が設定した時間継続した場合とすることを特徴とする。

請求項 7 記載の発明は、請求項 5 又は 6 記載の交流電動機のセンサレスベクトル制御装置において、前記誤設定推定手段が誤設定と推定した後、前記交流電動機の再始動を中断し、再度前記交流電動機に直流電流あるいは直流電圧を印加し、その時流れる二次電流から前記交流電動機の回転方向及び速度を推定し直し、その回転方向及び速度に相当する周波数を周波数調整回路に再設定して再始動することを特徴とする。

請求項 8 記載の発明は、請求項 7 記載の交流電動機のセンサレスベクトル制御装置において、前記交流電動機に直流電流あるいは直流電圧を印加し、その時流れる二次電流から前記交流電動機の回転方向及び速度を推定し直す際に、その速度の推定値が、前回推定した速度よりも設定した速度だけ下げた値または周波数調整回路の最終出力値が上限値となるように推定して、その推定値に相当する周波数を周波数調整回路に設定して始動することを特徴とする。

請求項 9 記載の交流電動機のセンサレスベクトル制御方法の発明は、交流電動機へ任意の電力を出力する電力変換器と、前記交流電動機に供給される電流を検出する電流検出回路と、前記交流電動機に供給される電流を励磁電流検出値とトルク電流検出値に変換して出力する座標変換回路と、前記励磁電流指令値と前記励磁電流検出値とが一致するように励磁電流方向電圧を制御する励磁電流制御回

路と、前記トルク電流指令値と前記トルク電流検出値とが一致するようにトルク電流方向電圧を制御するトルク電流制御回路と、与えられた出力周波数指令から交流電動機の誘起電圧を演算する V/f 変換回路と、与えられた出力周波数指令を積分することにより得られる位相角を演算する位相角演算回路と、前記励磁電流制御回路と前記トルク電流制御回路と前記 V/f 変換回路から出力される電圧指令から出力電圧の大きさ及び位相を演算する出力電圧演算回路とを備え、前記出力電圧演算回路から出力する電圧の大きさと位相に前記位相角演算回路から出力される位相角を加え、前記電力変換器のスイッチングを決定する制御方法で、かつそのための速度検出器と電圧検出器を持たない交流電動機のセンサレスベクトル制御方法であって、フリーラン状態の前記交流電動機の始動する際に、前記交流電動機に直流電流あるいは直流電圧を設定した時間だけ印加し、その時流れる二次電流から前記交流電動機の回転方向及び速度を推定し、その回転方向及び速度に相当する周波数を周波数調整回路に設定して始動し、周波数調整回路により出力周波数を前記交流電動機の色度と一致させる方法において、直流電流あるいは直流電圧を印加する時間は、前記交流電動機の推定下限値あるいは二次回路時定数の設定値から演算される値の長い方を設定することを特徴とする。

請求項10記載の発明は、請求項9記載の交流電動機のセンサレスベクトル制御方法において、前記直流電流あるいは直流電圧印加する時間内に、二次電流の周波数が測定できない場合には、前記交流電動機が停止していると判断して、予め設定していた最低周波数または零周波数を周波数調整回路に入力することを特徴とする。

請求項11記載の交流電動機のセンサレスベクトル制御装置の発明は、交流電動機へ任意の電力を出力する電力変換器と、前記交流電動機に供給される電流を検出する電流検出回路と、前記交流電動機に供給される電流を励磁電流検出値とトルク電流検出値に変換して出力する座標変換回路と、前記励磁電流指令値と前記励磁電流検出値とが一致するように励磁電流方向電圧を制御する励磁電流制御回路と、前記トルク電流指令値と前記トルク電流検出値とが一致するようにトルク電流方向電圧を制御するトルク電流制御回路と、与えられた出力周波数指令か

ら交流電動機の誘起電圧を演算する V/f 変換回路と、与えられた出力周波数指令を積分することにより得られる位相角を演算する位相角演算回路と、前記励磁電流制御回路と前記トルク電流制御回路と前記 V/f 変換回路から出力される電圧指令から出力電圧の大きさ及び位相を演算する出力電圧演算回路とを備え、前記出力電圧演算回路から出力する電圧の大きさと位相に前記位相角演算回路から出力される位相角を加え、前記電力変換器のスイッチングを決定する制御装置で、しかもそのための速度検出器と電圧検出器を持たない交流電動機のセンサレスベクトル制御装置であって、フリーラン状態の前記交流電動機の始動する際に、前記交流電動機に直流電流あるいは直流電圧を設定した時間だけ印加し、その時流れる二次電流から前記交流電動機の回転方向及び速度を推定し、その回転方向及び速度に相当する周波数を周波数調整回路に設定して始動し、周波数調整回路により出力周波数を前記交流電動機の速度と一致させる交流電動機のセンサレスベクトル制御装置において、直流電流あるいは直流電圧を印加する時間は、前記交流電動機の推定下限値あるいは二次回路時定数の設定値から演算される値の長い方を設定することを特徴とする。

請求項 1 2 記載の発明は、請求項 1 1 記載の交流電動機のセンサレスベクトル制御装置において、前記直流電流あるいは直流電圧印加する時間内に、二次電流の周波数が測定できない場合には、前記交流電動機が停止していると判断して、予め設定していた最低周波数または零周波数を周波数調整回路に入力することを特徴とする。

請求項 1 3 記載の交流電動機のセンサレスベクトル制御方法の発明は、交流電動機へ電力を出力する電力変換器を有し、電流指令信号と電力変換器の出力電流検出信号の偏差信号に基づいて電力変換器の出力電流を制御する電流制御部を備え、速度検出器と電圧検出器を持たない交流電動機制御方法であって、前記交流電動機がフリーラン状態にある場合に、前記交流電動機の電流をゼロにするように強制的に前記電流指令信号をゼロとして電流制御し、この時の前記電流制御部出力を用いて演算する出力電圧指令信号を基に前記交流電動機の残留電圧の大きさと位相および角速度を求め、フリーラン状態の前記交流電動機の回転方向及び

速度を推定する交流電動機のセンサレスベクトル制御方法において、フリーラン前の前記電力変換器の運転周波数及び前記交流電動機の二次回路時定数に応じて、前記電流指令信号をゼロとして電流制御を開始するまでの待ち時間を決定することを特徴とするものである。

また、請求項 1 4 記載の発明は、請求項 1 3 記載の交流電動機のセンサレスベクトル制御方法において、フリーラン前の前記電力変換器の運転周波数が任意に設定した周波数よりも低い場合には、前記電流指令信号をゼロとして電流制御を開始するまでの待ち時間をゼロに設定することを特徴とするものである。

また、請求項 1 5 記載の発明は、請求項 1 3 または 1 4 記載の交流電動機のセンサレスベクトル制御方法において、前記交流電動機のセンサレスベクトル制御方法において、前記交流電動機の誘起電圧が大きく、前記交流電動機の電流をゼロに制御するのが困難な場合に、前記交流電動機の電流をゼロとする制御を停止し、任意に設定した時間電力変換器により、前記交流電動機の入力が三相共短絡されるようなスイッチングを作ることにより、前記交流電動機に制動力を働かせ、前記交流電動機を減速させた後に再び、前記交流電動機の電流をゼロに制御し、フリーラン状態の前記交流電動機の回転方向及び速度を推定することを特徴とするものである。

また、請求項 1 6 記載の交流電動機のセンサレスベクトル制御装置の発明は、交流電動機へ電力を出力する電力変換器を有し、電流指令信号と電力変換器の出力電流検出信号の偏差信号に基づいて、電力変換器の出力電流を制御する電流制御部を備え、速度検出器と電圧検出器を持たない交流電動機のセンサレスベクトル制御装置であって、前記交流電動機がフリーラン状態にある場合に、前記交流電動機の電流をゼロにするように強制的に前記電流指令信号をゼロとして電流制御し、この時の前記電流制御部出力を用いて、演算する出力電圧指令信号を基に、前記交流電動機の残留電圧の大きさと位相および角速度を求めることにより、フリーラン状態の前記交流電動機の回転方向及び速度を推定する交流電動機のセンサレスベクトル制御装置において、フリーラン前の前記電力変換器の運転周波数及び前記交流電動機の二次回路時定数に応じて、前記電流指令信号をゼロとして

電流制御を開始するまでの待ち時間を決定することを特徴とするものである。

また、請求項 17 記載の発明は、請求項 16 記載の交流電動機のセンサレスベクトル制御装置において、フリーラン前の前記電力変換器の運転周波数が任意に設定した周波数よりも低い場合には、前記電流指令信号をゼロとして電流制御を開始するまでの待ち時間をゼロに設定することを特徴とするものである。

また、請求項 18 記載の発明は、請求項 16 または 17 記載の交流電動機のセンサレスベクトル制御装置において、前記交流電動機のセンサレスベクトル制御装置において、前記交流電動機の誘起電圧が大きく、前記交流電動機の電流をゼロに制御するのが困難な場合に、前記交流電動機の電流をゼロとする制御を停止し、任意に設定した時間電力変換器により、前記交流電動機の入力三相共短絡されるようなスイッチングを作ることにより、前記交流電動機に制動力を働かせ、前記交流電動機を減速させた後に再び、前記交流電動機の電流をゼロに制御し、フリーラン状態の前記交流電動機の回転方向及び速度を推定することを特徴とするものである。

さらに、請求項 19 記載の交流電動機のセンサレスベクトル制御方法の発明は、交流電動機へ電力を出力する電力変換器を有し、電流指令信号と電力変換器の出力電流検出信号の偏差信号に基づいて電力変換器の出力電流を制御する電流制御部を備え、前記交流電動機がフリーラン状態にある場合に、前記交流電動機の電流をゼロにするように強制的に前記電流指令信号をゼロとして電流制御し、この時の前記電流制御部出力を用いて、演算する出力電圧指令信号を基に、前記交流電動機の残留電圧の大きさと位相および角速度を求めることにより、フリーラン状態の前記交流電動機の回転方向及び速度を推定する速度検出器と電圧検出器の両方の検出器を備えない交流電動機のセンサレスベクトル制御方法において、前記交流電動機の電流をゼロにする処理を行う時は、通常制御時よりも電流制御の処理のスキャン時間を短くすることを特徴とするものである。

また、請求項 20 記載の発明は、請求項 19 記載の交流電動機のセンサレスベクトル制御方法において、前記交流電動機の電流をゼロにする処理を行う時は、通常制御時よりも電流制御の処理のスキャン時間を短くすると同時に、電力変換

器のキャリア周波数を高くすることを特徴とするものである。

また、請求項 2 1 記載の交流電動機のセンサレスベクトル制御装置の発明は、交流電動機へ電力を出力する電力変換器を有し、電流指令信号と電力変換器の出力電流検出信号の偏差信号に基づいて、電力変換器の出力電流を制御する電流制御部を備え、前記交流電動機がフリーラン状態にある場合に、前記交流電動機の電流をゼロにするように強制的に前記電流指令信号をゼロとして電流制御し、この時の前記電流制御部出力を用いて、演算する出力電圧指令信号を基に、前記交流電動機の残留電圧の大きさと位相および角速度を求めることにより、フリーラン状態の前記交流電動機の回転方向及び速度を推定する速度検出器と電圧検出器の両方の検出器を備えない交流電動機のセンサレスベクトル制御装置において、前記交流電動機の電流をゼロにする処理を行う時、通常制御時よりも電流制御の処理のスキャン時間を短くする手段を備えたことを特徴とするものである。

また、請求項 2 2 記載の発明は、請求項 2 1 記載の交流電動機のセンサレスベクトル制御装置において、前記交流電動機の電流をゼロにする処理を行う時、通常制御時よりも電流制御の処理のスキャン時間を短くすると同時に、電力変換器のキャリア周波数を高くする手段を備えたことを特徴とするものである。

また、請求項 2 3 記載の交流電動機のセンサレスベクトル制御方法の発明は、交流電動機へ電力を出力する電力変換器を有し、電流指令信号と電力変換器の出力電流検出信号の偏差信号に基づいて、電力変換器の出力電流を制御する電流制御部を備え、前記交流電動機がフリーラン状態にある場合に、前記交流電動機の電流をゼロにするように強制的に前記電流指令信号をゼロとして電流制御すると共にこの時の前記電流制御部出力を用いて、演算する出力電圧指令信号が任意に設定した電圧レベルよりも低い場合には、電流制御することをやめ、任意の方向に任意の大きさの直流電流指令を設定された時間印加し、その後前記直流電圧の指令方向と 180° 位相を変えた方向に任意の大きさの電流指令を与え、設定された時間再び電流制御し、速度推定回路が電流検出値に表れる周波数成分とその位相関係を検出し、この周波数成分を交流電動機の数度と推定して、位相関係からその回転方向を推定する速度検出器と電圧検出器の両方の検出器を備えない交流

電動機のセンサレスベクトル制御方法において、前記交流電動機に直流電流指令を与え、前記交流電動機の色度及び回転方向を推定している時、通常制御時よりも電流制御の処理のスキヤン時間を短くすることを特徴とするものである。

また、請求項 2 4 記載の発明は、請求項 2 3 記載の交流電動機のセンサレスベクトル制御方法において、前記交流電動機に直流電流指令を与え、前記交流電動機の色度及び回転方向を推定している時は、通常制御時よりも電流制御の処理のスキヤン時間を短くすると同時に、電力変換器のキャリア周波数を高くすることを特徴とするものである。

また、請求項 2 5 記載の発明は、請求項 2 3 または 2 4 記載の交流電動機のセンサレスベクトル制御方法において、前記交流電動機に直流電流指令を与え、前記交流電動機の色度及び回転方向を推定している時、通常制御時よりも電流制御の処理のスキヤン時間を短くすると同時に、通常制御時とは別の小さな電流も検出できるような感度の高い電流検出器を用いることを特徴とするものである。

また、請求項 2 6 記載の交流電動機のセンサレスベクトル制御装置の発明は、交流電動機へ電力を出力する電力変換器を有し、電流指令信号と電力変換器の出力電流検出信号の偏差信号に基づいて、電力変換器の出力電流を制御する電流制御部を備え、前記交流電動機がフリーラン状態にある場合に、前記交流電動機の電流をゼロにするように強制的に前記電流指令信号をゼロとして電流制御すると共にこの時の前記電流制御部出力を用いて、演算する出力電圧指令信号が任意に設定した電圧レベルよりも低い場合には、電流制御することをやめ、任意の方向に任意の大きさの直流電流指令を設定された時間印加し、その後前記直流電圧の指令方向と 180° 位相を変えた方向に任意の大きさの電流指令を与え、設定された時間再び電流制御し、このとき、速度推定回路が電流検出値に表れる周波数成分とその位相関係を検出し、この周波数成分を交流電動機の色度と推定して、位相関係からその回転方向を推定する速度検出器と電圧検出器の両方の検出器を備えない交流電動機のセンサレスベクトル制御装置において、前記交流電動機に直流電流指令を与え、前記交流電動機の色度及び回転方向を推定している時は、通常制御時よりも電流制御の処理のスキヤン時間を短くする手段を備えたことを特

徴とするものである。

また、請求項 27 記載の発明は、請求項 26 記載の交流電動機のセンサレスベクトル制御装置において、前記交流電動機に直流電流指令を与え、前記交流電動機の色度及び回転方向を推定している時、通常制御時よりも電流制御の処理のスキャン時間を短くすると同時に、電力変換器のキャリア周波数を高くする手段を備えたことを特徴とするものである。

また、請求項 28 記載の発明は、請求項 26 または 27 記載の交流電動機のセンサレスベクトル制御装置において、前記交流電動機に直流電流指令を与え、前記交流電動機の色度及び回転方向を推定している時、通常制御時よりも電流制御の処理のスキャン時間を短くすると同時に、通常制御時とは別の小さな電流も検出できる感度の高い電流検出器を備えたことを特徴とするものである。

<図面の簡単な説明>

図 1 は、本発明における交流電動機のセンサレスベクトル制御装置の第 1 の実施形態の構成を表すブロック図である。

図 2 は、交流電動機が正転でフリーランしているときに直流電流を与えた場合のトルク電流検出値 i_{qfb} の変化を表す線図である。

図 3 は、交流電動機が逆転でフリーランしているときに直流電流を与えた場合のトルク電流検出値 i_{qfb} の変化を表す線図である。

図 4 は、交流電動機が低速でフリーラン中に直流電流を与えた場合のトルク電流検出値 i_{qfb} の変化を表す線図である。

図 5 は、交流電動機の二次回路時定数が長い例での直流電流を与えた場合のトルク電流検出値 i_{qfb} の変化を表す線図である。

図 6 は、第 1 の実施形態の構成を表すフロー図である。

図 7 は、本発明における交流電動機のセンサレスベクトル制御装置の第 2 の実施形態の構成を示すブロック図である。

図 8 は、フリーラン前の運転周波数と再始動までの待ち時間である。

図 9 は、本発明における交流電動機のセンサレスベクトル制御装置の第 3 の実

施形態の構成を表すブロック図である。

図 10 は、本発明における交流電動機のセンサレスベクトル制御装置の第 4 の実施形態の構成を表すブロック図である。

なお、図中の符号は以下のとおりである。

- 1 電力変換器
- 2 交流電動機
- 3 電流検出器
- 4 電流座標変換回路
- 5 トルク電流制御回路
- 6 励磁電流制御回路
- 7 位相演算回路
- 8 V/f 変換回路
- 9 出力電圧演算回路
- 10 スイッチングパターン発生回路
- 11 周波数調整回路
- 12、13、14、17 スイッチ
- 15 速度推定回路（第 3 実施形態）
- 15B 速度推定回路（第 4 実施形態）
- 16 加算器

<発明を実施するための最良の形態>

以下、本発明について、図面を参照して説明する。

まず、本発明の第 1 の実施の形態について説明する。

第 1 の実施の形態は、交流電動機の再始動時に前記交流電動機に流れる電流が設定した電流レベル以上の状態で設定した時間継続した場合に、回転方向あるいは速度の推定を間違えたと判断して、再度直流電流あるいは直流電圧を印加して、交流電動機の回転方向及び速度を推定するものである。

図 1 は本発明における交流電動機のセンサレスベクトル制御装置の第 1 の実施形態の構成を示すブロック図である。本実施形態における電動機のセンサレスベクトル制御装置は、電力変換器 1、交流電動機 2、電流検出器 3、電流座標変換回路 4、トルク電流制御回路 5、励磁電流制御回路 6、位相演算回路 7、 V/f 変換回路 8、出力電圧演算回路 9、スイッチングパターン発生回路 10、周波数調整回路 11 を備えている。

電力変換器 1 は、パワー素子により三相交流を変換した直流電圧を PWM 制御方式により任意の周波数と電圧の交流に変換し、交流電動機 2 に供給する。

電流検出器 3 は、前記交流電動機 2 に供給される電流を検出する。

電流座標変換回路 4 は、前記電流検出器 3 で検出された電流をトルク電流検出値 i_{qfb} と励磁電流検出値 i_{dfb} に分離する。

トルク電流制御回路 5 は、与えられたトルク電流指令値 i_{qref} と前記トルク電流検出値 i_{qfb} とが一致するように第 1 の q 軸電圧指令値 V'_{qref} を演算する。

励磁電流制御回路 6 は、与えられた励磁電流指令値 i_{dref} と前記励磁電流検出値 i_{dfb} とが一致するように d 軸電圧指令値 d_{ref} を演算する。

位相演算回路 7 は、与えられた周波数 f_1 を積分することにより、位相 θ を演算する。

V/f 変換回路 8 は、前記与えられた周波数 f_1 から、交流電動機の誘起電圧に相当する電圧 E_{ref} を演算する。

出力電圧演算回路 9 は、前記トルク電流制御回路 5 の出力である第 1 の q 軸電圧指令値 V'_{qref} と前記 V/f 変換回路 8 の出力である電圧 E_{ref} を加算し、第 2 の q 軸電圧指令値 V_{qref} を演算し、前記第 2 の q 軸電圧指令値 V_{qref} と前記 d 軸電圧指令値 d_{ref} とから、出力電圧指令値 V_{lref} とその電圧位相 θ_v を出力する。

スイッチングパターン発生回路 10 は、前記出力電圧指令値 V_{lref} 及び前記電圧位相 θ_v と前記位相 θ を加算した電力変換器出力位相 θ_{deg} から、電力変換器 1 のスイッチングパターンを決定する。

周波数調整回路 11 は、フリーラン状態の交流電動機 2 を再始動する場合に、

前記電力変換器 1 から出力される周波数を調整することによりスムーズに始動できるようにするための回路である。

フリーラン状態の前記交流電動機 2 の回転方向及び速度を推定するために、任意に設定した時間、励磁電流指令値 i_{dref} に直流電流指令を与えた後、直流電流指令の符号と大きさを変えて電流制御し、トルク電流検出値 i_{qfb} の変化を測定する。

本発明では、フリーラン状態の交流電動機を始動させる際に、交流電動機に直流電流あるいは直流電圧を印加し、その時に流れる二次電流から交流電動機の回転方向及び速度を推定している。図 2 は交流電動機 2 が正転でフリーランしている場合、図 3 は交流電動機 2 が逆転でフリーランしている場合を示し、各図において、(a) は交流電動機 2 の励磁電流検出値 i_{dfb} 、(b) は交流電動機 2 のトルク電流検出値 i_{qfb} の時間変化を示している。

図 2 において、(a) のような時刻 t_1 で負の矩形波の励磁電流検出値 i_{dfb} が交流電動機 2 に流れるようにすると、正転でフリーランしている交流電動機 2 の場合 (b) のように正方向へ立ち上がる波形のトルク電流検出値 i_{qfb} が発生する。

逆に、図 3 のように、(a) のような時刻 t_1 で負の矩形波の励磁電流検出値 i_{dfb} が交流電動機 2 に流れるようにすると、逆転でフリーランしている交流電動機 2 の場合 (b) のように同じく負方向へ向かう波形のトルク電流検出値 i_{qfb} が発生する。

そこでこの点に着目して、検出したトルク電流検出値 i_{qfb} の時間変化から回転方向を検出することができ、またこのトルク電流検出値 i_{qfb} の周波数を計測することにより前記交流電動機の速度推定することができる。

このようにして推定した交流電動機 2 の回転方向及び速度推定値は、周波数調整回路 11 に設定され、運転される。周波数調整回路 11 はトルク電流検出値 i_{qfb} が 0 になるように周波数を調整して、交流電動機 2 のフリーラン状態の速度と前記電力変換器の出力周波数を一致させることにより、交流電動機 2 をスムーズに始動することができる。

そして本発明では、速度推定値あるいは回転方向を誤検出してしまった場合に、そのことを自動的に検出して、再度、直流電流を印加して、トルク電流検出値 i_{qfb} の時間変化から前記交流電動機の回転方向及び速度を推定するようにしている。すなわち、周波数調整回路に設定した回転方向及び周波数が実際の交流電動機の回転方向及び速度と離れていることを交流電動機に流れる電流の大きさから推定することとしており、具体的には交流電動機に流れる電流の大きさが設定した電流のレベル以上の状態が設定した時間継続したことを要件としている。そして、その要件が満たされた場合、交流電動機の再始動を中断し、再度前記交流電動機に直流電流あるいは直流電圧を印加し、その時流れる二次電流から前記交流電動機の回転方向及び速度を推定し直すものである。この場合の推定し直しの際に、その速度の推定値は、前回推定した速度よりも設定した速度だけ下げた値または周波数調整回路の最終出力値が上限値となるように推定して、その推定値に相当する周波数を周波数調整回路に設定して始動するようにしている。

次に、フリーラン状態になった交流電動機を再始動する本実施の形態の動作について、図 1 および図 6 を用いて詳細に説明する。

交流電動機 2 がフリーラン状態の場合、図 1 の 3 つのスイッチ $S_1 \sim S_3$ が A 側の通常運転状態から、B 側のフリーラン始動状態になる。そのため、トルク電流指令値 $i_{qref} = 0$ となり、励磁電流指令は前記 V/f 変換回路 8 から出力され、出力周波数 f_1 は前記周波数調整回路 11 からの出力となる。但し、前記出力周波数調整回路 11 には、零周波数を初期値として設定する。こうして、設定した時間任意の直流電流（図 2 又は図 3 の（a）参照）を交流電動機 2 に供給する（ステップ S1）。この時に流れるトルク電流検出値 i_{qfb} （図 2 又は図 3 の（b）参照）から周波数及び回転方向を推定する（ステップ S2）。この推定結果から、この周波数及び回転方向を前記出力周波数調整回路 11 に設定し直す（ステップ S3）。

前記出力周波数調整回路 11 に周波数及び回転方向を再設定すると、前記 V/f 変換回路 8 は、二次回路時定数に従い磁束が立ち上がるように励磁電流指令を演算し、前記磁束と前記設定された周波数 f_1 から、交流電動機の誘起電圧に相

当する電圧 E_{ref} を演算して出力する。

周波数調整回路 11 では、トルク電流検出値 i_{qfb} が 0 に近づくようにトルク電流検出値 i_{qfb} が正であれば、周波数を減らし、トルク電流検出値 i_{qfb} が負であれば、出力周波数を増やすように調整する。

磁束が通常運転時のレベルになった後、トルク電流検出値 i_{qfb} が 0 に近いある設定レベルに達すると（すなわち、交流電動機に流れる電流が設定レベル以上の大きさの状態が任意の時間継続しなくなると（ステップ S4 で NO)), 正常に始動できたと判断して、3つのスイッチ S1～S3 が A 側に切り替わる（ステップ S7）。

ところが、周波数調整回路 11 で周波数を調整している際に、前記交流電動機に流れる電流が任意の設定レベル以上の大きさの状態が任意の時間継続した場合（ステップ S4 で YES）、本実施の形態により、明らかに異常な状態であると判定される（ステップ S5）。この状態は前記交流電動機の回転方向と前記周波数調整回路 11 に設定されている回転方向が異なるか、前記交流電動機の前記周波数調整回路 11 に設定されている周波数の設定値が大きく離れている場合である。

この状態を検出した場合には、一度前記電力変換器を停止して（ステップ S6）、再度直流電流を印加するステップ S1 に戻り、前記交流電動機の回転方向及び速度を推定し直し、前記周波数調整回路に再設定する。

ここで、前記交流電動機の前記速度推定値の上限値として、前回推定した周波数から任意のレベルの値を減じた値もしくは前記周波数調整回路が最後に出力した周波数とする。これにより、再度推定した場合の誤検出を抑制することができる。

また、上記実施例では、交流電動機 2 に流れる電流をトルク電流と励磁電流に分離して、それぞれ独立に制御するベクトル制御を行う電力変換装置として説明したが、 V/f 一定制御を行う電力変換装置においても、フリーラン始動時に交流電動機に流れる電流をトルク電流と励磁電流に分離して、をそれぞれ独立に制御する電流制御回路を付加すれば、全く同様の処理で本発明を実施することができる。

次に、本発明の第 1 の実施の形態の変形例について説明する。

第 1 の実施の形態の変形例では、励磁電流指令値 i_{dref} に直流電流指令を与える任意の時間の設定方法に関するもので、任意の直流電流の印加時間を交流電動機の推定速度の下限值もしくは二次回路時定数の長い方を設定することにより、交流電動機の回転方向及び速度を確実に推定している。

トルク電流検出値の周波数の一測定方法として、正側のピークと負側のピークの周期または零クロスポイント間の周期を測定する方法がある。

ところが、図 4 のように正側のピークと負側のピークの周期 T_1 または零クロスポイント間の周期 T_2 が測定できない場合には、周波数が検出できなくなってしまう。このため、周波数の検出が可能なように直流電流を流しつづけなければならない。

しかしながら、前記交流電動機が低速でフリーランしている場合には、前記電力変換器を零周波数または出力可能な最低周波数から始動してもほとんどショックがなくスムーズに始動できることに着目し、このため、予め前記交流電動機のフリーラン時の速度推定値に下限値を設定しておき、その速度以下の場合は停止していると判断し、速度推定値を予め設定した値または零周波数として、前記周波数調整回路に設定することとしている。

また、二次回路時定数の長い交流電動機においては、残留電圧の影響でトルク電流検出値 i_{qfb} が図 5 のような波形となり、正しく回転方向を検出できない場合がある。このため、残留電圧の影響を打ち消すために、二次回路時定数または二次回路時定数に比例するような時間だけ直流を印加するようにしている。

このようにすることにより、印加された直流によって残留電圧が打ち消されて、図 5 のような波形が図 2（又は図 3）のような検出し易い波形となり、回転方向を確実に推定することができるようになる。

従って、直流電流指令を与える任意の時間の設定方法は、予め設定した速度推定値に下限値から演算される時間、または二次回路時定数もしくは二次回路時定数に比例するような時間の長い方とするのがよい。

フリーラン状態になった交流電動機を再始動する場合の動作については、第 1

の実施の形態のところで詳述したので、ここでは省略する。

また、本発明の説明では、交流電動機 2 に流れる電流をトルク電流と励磁電流に分離して、それぞれ独立に制御するベクトル制御を行う電力変換装置として説明したが、 V/f 一定制御を行う電力変換装置においても、フリーラン始動時に交流電動機に流れる電流をトルク電流と励磁電流に分離して、をそれぞれ独立に制御する電流制御回路を付加すれば、全く同様の処理で本発明を実施することができる。

また、本発明の説明では、周波数の測定方法として、正側のピークと負側のピークの周期または零クロスポイント間の周期を測定する方法について説明したが、一般的に確立されている周波数の検出方法を用いることでも、交流電動機の実速度の推定は可能である。

図 7 は、本発明における交流電動機のセンサレスベクトル制御装置の第 2 の実施形態の構成を示すブロック図である。本実施形態における電動機のセンサレスベクトル制御装置は、電力変換器 1、交流電動機 2、電流検出器 3、電流座標変換回路 4、トルク電流制御回路 5、励磁電流制御回路 6、位相演算回路 7、 V/f 変換回路 8、出力電圧演算回路 9、スイッチングパターン発生回路 10、スイッチ 12, 13, 14、速度推定回路 15 を備えている。

電力変換器 1 は、パワー素子により三相交流を順変換した直流電圧を PWM 制御方式により主回路パワー素子をスイッチングして任意の周波数と電圧の交流に変換し、交流電動機 2 に供給する。電流検出器 3 は、前記交流電動機 2 に供給される電流を検出する。電流座標変換回路 4 は、前記電流検出器 3 で検出された電流をトルク電流検出値 i_{qfb} と励磁電流検出値 i_{dfb} に分離する。トルク電流制御回路 5 は、与えられたトルク電流指令値 i_{qref} と前記トルク電流検出値 i_{qfb} とが一致するように第 1 の q 軸電圧指令値 V'_{qref} を演算する。励磁電流制御回路 6 は、与えられた励磁電流指令値 i_{dref} と前記励磁電流検出値 i_{dfb} とが一致するように d 軸電圧指令値 V_{dref} を演算する。

位相演算回路 7 は、与えられた周波数 f_1 を積分することにより、位相 θ を演算

する。 V/f 変換回路 8 は、前記与えられた周波数 f_1 から、交流電動機の誘起電圧に相当する電圧 E_{ref} を演算する。

出力電圧演算回路 9 は、前記トルク電流制御回路 5 の出力である第 1 の q 軸電圧指令値 V'_{qref} と前記 V/f 変換回路 8 の出力である電圧 E_{ref} を加算し、第 2 の q 軸電圧指令値 V_{qref} を演算し、前記第 2 の q 軸電圧指令値と前記 d 軸電圧指令値とから、出力電圧指令値 V_{lref} とその電圧位相 θ_V を出力する。スイッチングパターン発生回路 10 は、前記出力電圧指令値 V_{lref} 及び前記電圧位相 θ_V と前記位相 θ を加算した電力変換器出力位相 θ_{deg} から、電力変換器 1 のスイッチングパターンを決定する。

速度推定回路 15 は、フリーラン状態の交流電動機 2 の速度 f_r を推定する回路である。スイッチ 12 はトルク電流指令値 i_{qref} を零である B 側またはトルク電流制御回路 5 の入力となる A 側に切り換えるスイッチである。スイッチ 13 は励磁電流指令値 i_{dref} を零である B 側または励磁電流制御回路 6 の入力となる A 側に切り換えるスイッチである。スイッチ 14 は周波数 f_1 を零である B 側または V/f 変換回路 8 の入力となる A 側に切り換えるスイッチである。

次に、フリーラン状態になった交流電動機を再始動する場合の動作について詳細に説明する。前記交流電動機 2 がフリーラン状態の場合、図 7 の 3 つのスイッチ 12, 13, 14 が A 側の通常運転状態から、B 側のフリーラン始動状態になる。これにより、トルク電流指令値 $i_{qref}=0$ 及び励磁電流指令値 $i_{dref}=0$ となる。また、通常制御中は出力周波数に応じて、積算される位相も前記交流電動機がフリーランしているので、基準となる位相がないため、ゼロに固定した状態で、前記交流電動機に流れる電流をゼロに制御する。これは前記交流電動機がフリーラン状態の場合、回転速度に応じた誘起電圧を発生し、前記誘起電圧は前記交流電動機 2 の回転速度で回転するため、前記交流電動機 2 の回転速度や誘起電圧の大きさと無関係に前記電力変換器 1 を運転し始めると、前記交流電動機 2 と前記電力変換器 1 との間に電流が流れてしまう。前記トルク電流制御回路 5 及び前記励磁電流制御回路 6 により、電流をゼロに制御すれば、前記交流電動機 2 の誘起電圧と前記電力変換器の出力電圧の大きさ、位相、周波数が一致することになる。

このように前記交流電動機に流れる電流をゼロに制御することを零電流制御と呼ぶ。

零電流制御時のトルク電流制御回路 5、励磁電流制御回路 6 の出力である第 1 の q 軸電圧指令値 $V'_q\text{ref}$ 、d 軸電圧指令値 $V_d\text{ref}$ は、前記交流電動機 2 の回転速度に一致した周波数の正弦波状の電圧指令値となる。出力電圧演算回路 9 は、前記第 1 の q 軸電圧指令値 $V'_q\text{ref}$ と前記 d 軸電圧指令値を入力とし、出力電圧指令値 $V_l\text{ref}$ とその電圧位相 θ_V を出力する。前記出力電圧指令値 $V_l\text{ref}$ は前記交流電動機の誘起電圧の大きさを表し、前記電圧位相 θ_V は誘起電圧の位相を表す。このため、この誘起電圧の位相の時間変化を、一定時間毎に測定することで、前記速度推定回路 15 は誘起電圧の周波数を測定する。前記誘起電圧の周波数は、これまでの説明からわかるように、前記交流電動機 2 の回転速度に一致する。このため、フリーラン状態の前記交流電動機 2 の回転速度を推定することができる。前記交流電動機が逆転している場合には、位相の変化率が負になるので、フリーラン状態の交流電動機が正転しているか逆転しているかも推定することができる。このように零電流制御により、前記交流電動機の誘起電圧を観測すれば、交流電動機の回転方向を含めて、回転速度を推定できる。

次に、零電流制御を止め通常制御に切り替わる場合における、推定した回転方向及び速度を前記電力変換器に設定方法について説明する。零電流制御状態から通常運転に移行する場合に、周波数だけ一致させて前記電力変換器 1 を始動しても、前記交流電動機には過大な電流が流れたりして、スムーズな始動ができない可能性がある。これを防止するためには、零電流制御中の誘起電圧の大きさと位相が通常制御に移行する瞬間にも連続しなければならない。このため、電力変換器の出力電圧指令値 $V_l\text{ref}$ 及び電力変換器出力位相 θ_{deg} 及び出力周波数 f_1 に初期値を設定しなければならない。具体的には、通常運転状態では、前記電力変換器出力位相 θ_{deg} は前記交流電動機 2 の磁束の位相を基準にして制御するが、零電流制御中は、前記交流電動機 2 の誘起電圧と一致するような位相を出力している。このため、零電流制御中においては、通常制御の位相に対して、正転の場合には 90° 位相が進んでいて、逆転の場合には 90° 位相が遅れている。従って、

前記電力変換器出力位相 θ deg の初期値は、零電流制御の最後の位相から回転方向に応じて 90° 位相を修正した後、前記速度推定回路 15 が出力する交流電動機 2 の回転速度の推定値 f_r を位相に換算して加えて補正した値を設定する。こうすることにより位相の連続性が保たれる。

また、零電流制御中に出力していた出力電圧指令値 V_{lref} を誘起電圧に設定すれば、出力電圧の連続性が保たれる。このようにして、零電流制御から通常制御にスムーズに移行することができる。

前記交流電動機が誘導電動機の場合には、二次回路時定数に従って、誘起電圧が減衰しているため、二次回路時定数に応じて、誘起電圧を正規の V/f レベルに一致した時点でフリーラン状態の交流電動機を正常に始動できたと判断して、3つのスイッチ 12, 13, 14 がA側に切り替わる。

前記交流電動機が永久磁石式の同期電動機の場合には、誘起電圧が減衰しないため、前記位相の連続性及び出力電圧の連続性を確保する処理を行った時点でフリーラン状態の交流電動機を正常に始動できたと判断して、3つのスイッチ 12, 13, 14 がA側に切り替わる。

次に本発明である電力変換器を再始動するまでの待ち時間の決定方法について説明する。フリーラン状態の前記交流電動機を速度を推定するためには、零電流制御時のトルク電流制御回路 5、励磁電流制御回路 6 の出力である第 1 の q 軸電圧指令値 V'_{qref} 、d 軸電圧指令値 V_{dref} が、前記交流電動機の誘起電圧と一致しなければならない。ここで、トルク電流制御回路 5、励磁電流制御回路 6 が十分な能力を発揮し、前記交流電動機に流れる電流をゼロに制御できる場合には問題とならない。

しかし、トルク電流制御回路 5、励磁電流制御回路 6 のゲインが低い場合や前記交流電動機が高速で回転している場合には、大きな誘起電圧が発生しているため、前記電力変換器を始動した直後に過大な電流が流れ、前記電力変換器がトリップしてスムーズな始動ができないことがある。これを防止するため、トルク電流制御回路 5、励磁電流制御回路 6 の応答能力を予め把握しておき、フリーラン

状態中に前記交流電動機が発生する電圧レベルが任意の値以下になるようにしておけば、零電流制御を実現でき、速度推定が可能となる。すなわち、前記交流電動機の誘起電圧が任意に設定した電圧レベル以下になるようにすれば良いことになる。

その方法の一つとして、前記電力変換器を再始動するまでの時間を制御することで、それが実現できる。前記交流電動機の誘起電圧は、フリーラン状態になる前の運転周波数で決まるため、誘起電圧が前記任意に設定した電圧レベル以下となる周波数で運転していた場合には、待ち時間は不要となる。その周波数以上で運転していた場合には、待ち時間が必要となるが、フリーラン状態になる前の運転周波数と前記交流電動機の二次回路時定数に応じて演算することができる。最大で必要な待ち時間を前記交流電動機の二次回路時定数で演算し、その時間とすると、必要な待ち時間は、前記交流電動機がフリーラン状態になる前の運転周波数に応じて図8のように決定すればよい。

次にもう一つの本発明である前記交流電動機の誘起電圧が大きく、前記交流電動機の電流をゼロに制御するのが困難な場合の対策方法について説明する。前記交流電動機が二次回路時定数の長い誘導電動機または永久磁石同期電動機の場合には、上記のように待ち時間が経過しても誘起電圧が任意に設定した電圧レベル以下にならない可能性がある。この場合には、零電流制御を途中で停止して、前記電力変換器に前記交流電動機が三相共短絡されるようなスイッチングして、任意に設定した時間、三相短絡を続ける。すると前記交流電動機には、制動力が発生し、前記交流電動機が減速する。

これにより、前記交流電動機の誘起電圧が減少する。任意の時間経過後、再び零電流制御を開始して、誘起電圧が任意に設定した電圧レベル以下になっていたら、零電流制御により速度推定ができる。しかし、誘起電圧が任意に設定した電圧レベル以下になっていない場合には、再び任意の時間、三相短絡されるようなスイッチングをする。このように、前記交流電動機の誘起電圧が任意に設定した電圧レベルに下がるまで、この処理を繰り返すことにより、過大な電流が流れ、前記電力変換器がトリップするのを防止して、前記交流電動機をスムーズ再始動

することを特徴としている。

また、上記実施例では、交流電動機 2 に流れる電流をトルク電流と励磁電流に分離して、それぞれ独立に制御するベクトル制御を行う電力変換装置として説明したが、 V/f 一定制御を行う電力変換装置においても、フリーラン始動時に交流電動機に流れる電流をトルク電流と励磁電流に分離して、をそれぞれ独立に制御する電流制御回路を付加すれば、全く同様の処理で本発明を実施することができる。

図 9 は本発明における交流電動機のセンサレスベクトル制御装置の第 3 の実施形態の構成を示すブロック図である。

本実施形態における交流電動機のセンサレスベクトル制御装置は、電力変換器 1、交流電動機 2、電流検出器 3、電流座標変換回路 4、トルク電流制御回路 5、励磁電流制御回路 6、位相演算回路 7、 V/f 変換回路 8、出力電圧演算回路 9、スイッチングパターン発生回路 10、速度推定回路 15、加算器 16 を備えている。電力変換器 1 は、パワー素子により三相交流を変換した直流電圧を PWM 制御方式により任意の周波数と電圧の交流に変換し、交流電動機 2 に供給する。

電流検出器 3 は、前記交流電動機 2 に供給される電流を検出し、その電流検出信号を電流座標変換回路 4 へ入力する。

電流座標変換回路 4 は、前記電流検出器 3 で検出された電流をトルク電流検出値 i_{qfb} と励磁電流検出値 i_{dfb} に分離し、分離したトルク電流検出値 i_{qfb} をトルク電流制御回路 5 へ入力し、分離した励磁電流検出値 i_{dfb} を励磁電流制御回路 6 へ入力する。トルク電流制御回路 5 は、与えられたトルク電流指令値 i_{qref} と前記トルク電流検出値 i_{qfb} とが一致するように第 1 の q 軸電圧指令値 V'_{qref} を演算する。

励磁電流制御回路 6 は、与えられた励磁電流指令値 i_{dref} と前記励磁電流検出値 i_{dfb} とが一致するように d 軸電圧指令値 V_{dref} を演算する。

位相演算回路 7 は、入力された周波数 f_1 を積分することにより、位相 θ を演算し、位相 θ を電流座標変換回路 4 と加算器 16 へ入力する。

V/f 変換回路 8 は、入力された周波数 f_1 から、交流電動機の誘起電圧に相当

する電圧 E_{ref} を演算する。この電圧 E_{ref} は $E_{ref}/f_1 = \text{一定値}$ になるように予め設定している。

出力電圧演算回路 9 は、前記トルク電流制御回路 5 の出力である第 1 の q 軸電圧指令値 V'_{qref} と前記 V/f 変換回路 8 の出力である電圧 E_{ref} を加算し、第 2 の q 軸電圧指令値 V_{qref} を演算し、前記第 2 の q 軸電圧指令値と前記 d 軸電圧指令値とから、出力電圧指令値 V_{lref} とその電圧位相 θ_V を出力する。

$$V_{lref} = [(V_{dref})^2 + (V_{qref})^2]^{1/2} \quad \dots (1)$$

$$\theta_V = \tan^{-1} (V_{qref}/V_{dref}) \quad \dots (2)$$

スイッチングパターン発生回路 10 は、前記出力電圧指令値 V_{lref} 及び前記電圧位相 θ_V と前記位相 θ を加算した電力変換器出力位相 θ_{deg} から、電力変換器 1 のスイッチングパターンを決定する。

速度推定回路 15 は、前記電圧位相 θ_V の単位時間当りの変化から、フリーラン状態の交流電動機 2 の速度 f_r とその回転方向を推定する回路である。

次に、フリーラン状態になった交流電動機を再始動する場合の動作について詳細に説明する。前記交流電動機 2 がフリーラン状態の場合、図 9 の 3 つのスイッチ 12、13、14 が A 側の通常運転状態から、B 側のフリーラン始動状態になる。これにより、トルク電流指令値 $i_{qref} = 0$ 及び励磁電流指令値 $i_{dref} = 0$ となる。また、通常制御中は出力周波数に応じて、積算される位相も前記交流電動機がフリーランしているので、基準となる位相がないため、ゼロに固定した状態で、前記交流電動機に流れる電流をゼロに制御する。ここで、前記交流電動機がフリーラン状態の場合、回転速度に応じた誘起電圧を発生する。前記誘起電圧は前記交流電動機 2 の回転速度で回転するため、前記交流電動機 2 の回転速度や誘起電圧の大きさと無関係に前記電力変換器 1 を運転し始めると、前記交流電動機 2 と前記電力変換器 1 との間に電流が流れてしまう。前記トルク電流制御回路 5 及び前記励磁電流制御回路 6 により、電流をゼロに制御すれば、前記交流電動機 2 の誘起電圧と前記電力変換器の出力電圧の大きさ、位相、周波数が一致することになる。このように前記交流電動機に流れる電流をゼロに制御することを零電流制御と呼ぶ。

零電流制御時のトルク電流制御回路 5、励磁電流制御回路 6 の出力である第 1 の q 軸電圧指令値 V'_{qref} 、d 軸電圧指令値 V_{dref} は、前記交流電動機 2 の回転速度に一致した周波数の正弦波状の電圧指令値となる。出力電圧演算回路 9 は、前記第 1 の q 軸電圧指令値 V'_{qref} と前記 d 軸電圧指令値 V_{dref} を入力とし、出力電圧指令値 V_{lref} とその電圧位相 θ_V を出力する。前記出力電圧指令値 V_{lref} は前記交流電動機の誘起電圧の大きさを表し、前記電圧位相 θ_V は誘起電圧の位相を表す。このため、この誘起電圧の位相の時間変化を、一定時間毎に測定することで、前記速度推定回路 15 は誘起電圧の周波数を測定する。前記誘起電圧の周波数は、これまでの説明からわかるように、前記交流電動機 2 の回転速度に一致する。このため、フリーラン状態の前記交流電動機 2 の回転速度を推定することができる。前記交流電動機が逆転している場合には、位相の変化率が負になるので、フリーラン状態の交流電動機が正転しているか逆転しているかも推定することができる。このように零電流制御により、前記交流電動機の誘起電圧を観測すれば、交流電動機の回転方向を含めて、回転速度を推定できる。

次に、零電流制御を止め通常制御に切り替わる場合における、推定した回転方向及び速度を前記電力変換器に設定方法について説明する。

零電流制御状態から通常運転に移行する場合に、周波数だけ一致させて前記電力変換器 1 を始動しても、前記交流電動機には過大な電流が流れたりして、スムーズな始動ができない可能性がある。これを防止するためには、零電流制御中の誘起電圧の大きさと位相が通常制御に移行する瞬間にも連続しなければならない。このため、電力変換器の出力電圧指令値 V_{lref} 及び電力変換器出力位相 θ_{deg} 及び出力周波数 f_1 に初期値を設定しなければならない。具体的には、通常運転状態では、前記電力変換器出力位相 θ_{deg} は前記交流電動機 2 の磁束の位相を基準にして制御するが、零電流制御中は、前記交流電動機 2 の誘起電圧と一致するような位相を出力している。このため、零電流制御中においては、通常制御の位相に対して、正転の場合には 90° 位相が進んでいて、逆転の場合には 90° 位相が遅れている。従って、前記電力変換器出力位相 θ_{deg} の初期値は、零電流制御の最後の位相から回転方向に応じて 90° 位相を修正した後、前記速度推定回路 1

5が出力する交流電動機2の回転速度の推定値 f_r を位相に換算して加えて補正した値を設定する。こうすることにより位相の連続性が保たれる。

また、零電流制御中に出力していた出力電圧指令値 V_{lref} を誘起電圧に設定すれば、出力電圧の連続性が保たれる。このようにして、零電流制御から通常制御にスムーズに移行することができる。

前記交流電動機の誘起電圧を二次回路時定数に従って少しずつ上昇していき、正規の V/f レベルに一致できた時点でフリーラン状態の交流電動機を正常に始動できたと判断して、3つのスイッチがA側に切り替わる。

次に本発明である零電流制御中の電流応答を向上するための方法について説明する。フリーラン状態の前記交流電動機を速度を推定するためには、零電流制御時のトルク電流制御回路5、励磁電流制御回路6の出力である第1のq軸電圧指令値 V'_{qref} 、d軸電圧指令値 V_{dref} が、前記交流電動機の誘起電圧と一致しなければならない。

ここで、トルク電流制御回路5、励磁電流制御回路6が十分な能力を発揮し、前記交流電動機に流れる電流をゼロに制御できる場合には問題とならないが、トルク電流制御回路5、励磁電流制御回路6のゲインが大きくできない場合や前記交流電動機が高速で回転している場合には、大きな誘起電圧が発生しているため、前記電力変換器を始動した直後に過大な電流が流れ、前記電力変換器がトリップしてスムーズな始動ができないことがある。これを防止するためには、トルク電流制御回路5、励磁電流制御回路6の応答を向上しなければならない。電流制御を処理するスキャン時間が短ければ、その分だけ遅れがなくなるため、指令通りに電流を制御することができる。このため、零電流制御中はその他の演算を省略すれば、通常制御に対して、電流制御するためのスキャン時間を短くできるので、電流制御応答は向上できる。また、零電流制御時に電流制御のスキャン時間を短くしても、電力変換器のスイッチングパターンの作成が遅ければ、電流制御のスキャン時間を短くした効果が半減してしまう。そこで、零電流制御を実施する場合は、電力変換器も高速に動作できるように、その基準となるキャリア周波数を高くすることにより、電流制御応答を向上できる。

このように通常制御時に対して、零電流制御中の電流制御のスキャン時間を短くしたり、電力変換器のキャリア周波数を高くすることで、電流制御応答を向上することができ、零電流制御中に過大な電流が流れ、前記電力変換器がトリップするのを防止して、前記交流電動機をスムーズ再始動することを特徴としている。

次に、本発明における交流電動機のセンサレスベクトル制御装置の第4の実施形態の変形例の構成を示すブロック図である図10について説明する。

本実施形態における電動機のセンサレスベクトル制御装置は、電力変換器1、交流電動機2、電流検出器3、電流座標変換回路4、トルク電流制御回路5、励磁電流制御回路6、位相演算回路7、 V/f 変換回路8、出力電圧演算回路9、スイッチングパターン発生回路10、速度推定回路15Bを備えている。速度推定回路15B以外は共通であるので、説明を省略する。

速度推定回路15Bは、直流電流印加時のトルク電流検出値 i_{qfb} と励磁電流検出値 i_{dfb} より、フリーラン状態の交流電動機2の速度及び回転方向を推定する回路である。

次に、フリーラン状態になった交流電動機を再始動する場合の動作について詳細に説明する。第3の実施形態において、零電流制御中に前記出力電圧演算回路9から出力される出力電圧指令値 V_{lref} が、設定された任意のレベルよりも低い場合には、フリーラン状態の交流電動機がほぼ停止しているためか、二次回路時定数が短いため残留電圧がなくなってしまったか判断できない。そこで、このような状態になった場合には、第3の実施形態での運転を停止して、第4の実施形態での運転に切り替える。

図10の3つのスイッチ(12, 14, 17)がA側の通常運転状態から、B側のフリーラン始動状態になる。これにより、トルク電流指令値 $i_{qref} = 0$ となる。また、通常制御中は出力周波数に応じて、積算される位相も前記交流電動機がフリーランしているので、基準となる位相がないため、ゼロに固定した状態で、前記交流電動機に流れる電流を制御する。また、前記交流電動機のフリーラン状態のトルク電流検出値 i_{qfb} を用いて、前記交流電動機の色度及び回転方向を推定

するため、第2のq軸電圧指令値 V_{qref} は、ゼロにする。

前記交流電動機を励磁するため、励磁電流指令値 id_{ref} はある設定した値を与え、励磁電流制御回路6で励磁電流検出値 id_{fb} を励磁電流指令値 id_{ref} に一致させるように設定された時間だけ制御する。その後、励磁電流指令値 id_{ref} の符号と大きさを変更して、設定された時間だけ制御する。

このときフリーラン中の前記交流電動機には、直流電流が印加されたことにより、磁束が発生する。この際に過度的に前記交流電動機のロータに流れる二次電流をトルク電流検出値 i_{qfb} により検出するものである。このトルク電流検出値 i_{qfb} の周波数及び直流電流印加時の位相情報を検出して、前記交流電動機の色度及び回転方向を推定するものである。

前記交流電動機2が正転で回転している場合には、トルク電流検出値 i_{qfb} は図2のように変化する。励磁電流検出値 id_{fb} の符号が負の場合には、トルク電流検出値 i_{qfb} は位相が 0° から始まる正弦波に変化し、励磁電流検出値 id_{fb} の符号が正の場合にはトルク電流検出値 i_{qfb} は位相が 180° から始まる正弦波に変化する。このトルク電流検出値 i_{qfb} の正弦波の周波数はフリーラン中の交流電動機2の色度と一致するので、トルク電流検出値 i_{qfb} の周波数を計測することにより、前記交流電動機2の色度を検出できる。また、前記交流電動機が逆転している場合には、図3のように変化し、励磁電流検出値 id_{fb} の符号が負の場合には、トルク電流検出値 i_{qfb} は位相が 180° から始まる正弦波に変化し、励磁電流検出値 id_{fb} の符号が正の場合には、トルク電流検出値 i_{qfb} は位相が 0° から始まる正弦波に変化する。

このように前記交流電動機に直流電流を印加した場合の励磁電流検出値 id_{fb} 及びトルク電流検出値 i_{qfb} の位相関係とトルク電流検出値 i_{qfb} の周波数を検出することにより速度及び回転方向を推定できる。

次に、任意の時間経過後直流電流印加状態から通常制御に切り替わる場合における、推定した回転方向及び速度を前記電力変換器に設定方法について説明する。この場合、第3の実施形態とは異なり、前記交流電動機に誘起電圧がほとんど残

っていないため、磁束を改めて作ればよいので、回転方向と周波数を一致させて前記電力変換器 1 を始動すればよい。前記交流電動機の誘起電圧を二次回路時定数に従って少しずつ上昇していき、正規の V/f レベルに一致できた時点でフリーラン状態の交流電動機を正常に始動できたと判断して、3つのスイッチがA側に切り替わる。

次に本発明である直流電流印加中のトルク電流検出値 i_{qfb} の周波数を検出することにより速度を推定する場合の精度を向上する方法について説明する。

前記交流電動機が高速でフリーランしている場合には、図 2 および図 3 のトルク電流検出値 i_{qfb} の周波数が高くなる。トルク電流検出値 i_{qfb} の周波数の一測定方法として、正側のピークと負側のピークの周期または零クロスポイント間の周期を測定する方法がある。正側のピークと負側のピークの周期または零クロスポイント間の周期を測定する際に、電流制御のスキャンが遅いと周期の測定精度が荒くなるため、周波数の検出精度も荒くなってしまう。また、高速でフリーランすると、直流電流に対して、前記交流電動機の周波数の差が大きくなるため、この周波数の差のためにインピーダンスが大きくなり、ロータ側に流れる電流は小さくなってしまう。このため、トルク電流検出値 i_{qfb} が小さくなり、トルク電流検出値 i_{qfb} の正側のピークと負側のピークの周期または零クロスポイント間の周期を測定が困難となる。

このため、直流電流印加中はその他の演算を省略すれば、通常制御に対して、電流制御するためのスキャン時間を短くできるので、正側のピークと負側のピークの周期または零クロスポイント間の周期を測定分解能が高くなるため、周波数検出精度が向上できる。また、直流電流を印加中に電流制御のスキャン時間を短くしたり、電力変換器のキャリア周波数を高くすることにより、電流制御応答が向上できるため、励磁電流検出値 i_{dfb} を矩形波状に制御できるので、トルク電流検出値 i_{qfb} に前記交流電動機の二次電流がすべて表れる。また、フリーラン状態の交流電動機の高ければ高いほど、トルク電流検出値 i_{qfb} が小さくなるため、通常の電流検出方法では検出が困難となるので、直流電流印加時には、電流

検出回路の検出感度を数倍にして、小さな電流も検出できるようにすれば、高速でフリーランしている場合でも、正側のピークと負側のピークの周期または零クロスポイント間の周期を測定できるようになる。

このように通常制御時に対して、直流電流印加中の電流制御のスキャン時間を短くしたり、電力変換器のキャリア周波数を高くすることで、電流制御応答を向上することができるのと、トルク電流検出値 i_{qfb} の正側のピークと負側のピークの周期または零クロスポイント間の周期の測定分解能が高くなることから、フリーラン中の交流電動機を正確に測定でき、通常制御時に対して、直流電流印加中の電流検出回路の検出感度を高くすることにより、拘束にフリーランしている場合でも速度検出できるようにすることで、前記交流電動機をスムーズ再始動することを特徴としている。

また、上記実施例では、交流電動機 2 に流れる電流をトルク電流と励磁電流に分離して、それぞれ独立に制御するベクトル制御を行う電力変換装置として説明したが、 V/f 一定制御を行う電力変換装置においても、フリーラン始動時に交流電動機に流れる電流をトルク電流と励磁電流に分離して、をそれぞれ独立に制御する電流制御回路を付加すれば、全く同様の処理で本発明を実施することができる。

本発明を詳細にまた特定の実施態様を参照して説明したが、本発明の精神と範囲を逸脱することなく様々な変更や修正を加えることができることは当業者にとって明らかである。

本出願は、2002 年 7 月 08 日出願の日本特許出願（特願 2002-198712）、2002 年 10 月 30 日出願の日本特許出願（特願 2002-315177）、2003 年 4 月 25 日出願の日本特許出願（特願 2003-121733）に基づくものであり、その内容はここに参照として取り込まれる。

<産業上の利用可能性>

以上のように、本発明の第 1 の実施の形態によれば、交流電動機の再始動時に

前記交流電動機に流れる電流が設定した電流レベル以上の状態で設定した時間継続した場合には、回転方向あるいは速度の推定を間違えたと判断して、再度直流電流あるいは直流電圧を印加して、前記交流電動機の回転方向及び速度を推定するようにしているので、フリーラン状態の交流電動機をスムーズに再始動することができる。

また、本発明の第 1 の実施の形態の変形例によれば、任意の直流電流の印加時間を前記交流電動機の推定速度の下限值もしくは二次回路時定数の長い方を設定することにより、最適な直流電流印加時間により、前記交流電動機の回転方向及び速度を確実に推定するようにしているので、同じくフリーラン状態の交流電動機をスムーズに再始動することができる。

本発明の第 2 の実施の形態によれば、交流電動機へ電力を出力する電力変換器を有し、電流指令信号と電力変換器の出力電流検出信号の偏差信号に基づいて電力変換器の出力電流を制御する電流制御部を備え、速度検出器と電圧検出器を持たない交流電動機制御方法であって、前記交流電動機がフリーラン状態にある場合に、前記交流電動機の電流をゼロにするように強制的に前記電流指令信号をゼロとして電流制御し、この時の前記電流制御部出力を用いて演算する出力電圧指令信号を基に前記交流電動機の残留電圧の大きさと位相および角速度を求め、フリーラン状態の前記交流電動機の回転方向及び速度を推定する交流電動機のセンサレスベクトル制御方法において、フリーラン前の前記電力変換器の運転周波数及び前記交流電動機の二次回路時定数に応じて、前記電流指令信号をゼロとして電流制御を開始するまでの待ち時間を決定したので、電流制御器部の応答が悪い場合あるいは、前記交流電動機が誘導電動機だけでなく永久磁石同期電動機の場合であっても、確実に、スムーズに運転継続することができる交流電動の制御方法及び装置を提供することができる。

本発明の第 3 の実施の形態によれば、前記交流電動機の電流をゼロにするように強制的に前記電流指令信号をゼロとして電流制御する場合に、電流制御器の応

答を高め、前記電力変換器が過電流状態とならないようにし、スムーズに運転継続できる。

本発明の第4の実施の形態によれば、交流電動機に直流電流指令を与え、前記交流電動機の色度及び回転方向を推定している時にも、前記交流電動機が高速でフリーランしている場合、周波数検出の精度を向上する。交流電動機が高速でフリーランしている場合でもスムーズに運転継続できる、といった効果がある。

請 求 の 範 囲

1. 交流電動機へ任意の電力を出力する電力変換器と、
前記交流電動機に供給される電流を検出する電流検出回路と、
前記交流電動機に供給される電流を励磁電流検出値とトルク電流検出値に変換して出力する座標変換回路と、
前記励磁電流指令値と前記励磁電流検出値とが一致するように励磁電流方向電圧を制御する励磁電流制御回路と、
前記トルク電流指令値と前記トルク電流検出値とが一致するようにトルク電流方向電圧を制御するトルク電流制御回路と、
与えられた出力周波数指令から交流電動機の誘起電圧を演算する V/f 変換回路と、
与えられた出力周波数指令を積分することにより得られる位相角を演算する位相角演算回路と、
前記励磁電流制御回路と前記トルク電流制御回路と前記 V/f 変換回路から出力される電圧指令から出力電圧の大きさ及び位相を演算する出力電圧演算回路とを備え、
前記出力電圧演算回路から出力する電圧の大きさと位相に前記位相角演算回路から出力される位相角を加え、前記電力変換器のスイッチングを決定する制御方法で、かつそのための速度検出器と電圧検出器を持たない交流電動機のセンサレスベクトル制御方法であって、フリーラン状態の前記交流電動機の始動する際に、前記交流電動機に直流電流あるいは直流電圧を印加し、その時流れる二次電流から前記交流電動機の回転方向及び速度を推定し、その回転方向及び速度に相当する周波数を周波数調整回路に設定して始動し、周波数調整回路により出力周波数を前記交流電動機の色度と一致させる制御方法において、
前記周波数調整回路に設定した回転方向及び周波数が実際の交流電動機の回転方向及び速度と離れていることを前記交流電動機に流れる電流の大きさから推定することを特徴とする交流電動機のセンサレスベクトル制御方法。

2. 前記周波数調整回路に設定した回転方向及び周波数が実際の交流電動機の回転方向及び速度と離れていることを推定する基準は、前記交流電動機に流れる電流の大きさが設定した電流のレベル以上の状態が設定した時間継続した場合とすることを特徴とする請求項1記載の交流電動機のセンサレスベクトル制御方法。

3. 前記周波数調整回路に設定した回転方向及び周波数が実際の交流電動機の回転方向及び速度と離れていることを推定した後、前記交流電動機の再始動を中断し、再度前記交流電動機に直流電流あるいは直流電圧を印加し、その時流れる二次電流から前記交流電動機の回転方向及び速度を推定し直し、その回転方向及び速度に相当する周波数を周波数調整回路に再設定して再始動することを特徴とする請求項1又は2記載の交流電動機のセンサレスベクトル制御方法。

4. 前記交流電動機に直流電流あるいは直流電圧を印加し、その時流れる二次電流から前記交流電動機の回転方向及び速度を推定し直す際に、

その速度の推定値は、前回推定した速度よりも設定した速度だけ下げた値または周波数調整回路の最終出力値が上限値となるように推定して、その推定値に相当する周波数を周波数調整回路に設定して始動することを特徴とする請求項3記載の交流電動機のセンサレスベクトル制御方法。

5. 交流電動機へ任意の電力を出力する電力変換器と、
前記交流電動機に供給される電流を検出する電流検出回路と、
前記交流電動機に供給される電流を励磁電流検出値とトルク電流検出値に変換して出力する座標変換回路と、
前記励磁電流指令値と前記励磁電流検出値とが一致するように励磁電流方向電圧を制御する励磁電流制御回路と、
前記トルク電流指令値と前記トルク電流検出値とが一致するようにトルク電流方向電圧を制御するトルク電流制御回路と、

与えられた出力周波数指令から交流電動機の誘起電圧を演算するV/f変換回路と、

与えられた出力周波数指令を積分することにより得られる位相角を演算する位相角演算回路と、

前記励磁電流制御回路と前記トルク電流制御回路と前記V/f変換回路から出力される電圧指令から出力電圧の大きさ及び位相を演算する出力電圧演算回路とを備え、

前記出力電圧演算回路から出力する電圧の大きさと位相に前記位相角演算回路から出力される位相角を加え、前記電力変換器のスイッチングを決定する制御装置で、かつそのための速度検出器と電圧検出器を持たない交流電動機のセンサレスベクトル制御装置であって、フリーラン状態の前記交流電動機の始動する際に、前記交流電動機に直流電流あるいは直流電圧を印加し、その時流れる二次電流から前記交流電動機の回転方向及び速度を推定し、その回転方向及び速度に相当する周波数を周波数調整回路に設定して始動し、周波数調整回路により出力周波数を前記交流電動機の速度と一致させる制御装置において、

前記周波数調整回路に設定した回転方向及び周波数が実際の交流電動機の回転方向及び速度と離れていることを前記交流電動機に流れる電流の大きさから推定する誤設定推定手段を備えたことを特徴とする交流電動機のセンサレスベクトル制御装置。

6. 前記誤設定推定手段が前記交流電動機に流れる電流の大きさから誤設定と推定する基準は、前記交流電動機に流れる電流の大きさが設定した電流のレベル以上の状態が設定した時間継続した場合とすることを特徴とする請求項5記載の交流電動機のセンサレスベクトル制御装置。

7. 前記誤設定推定手段が誤設定と推定した後、前記交流電動機の再始動を中断し、再度前記交流電動機に直流電流あるいは直流電圧を印加し、その時流れる二次電流から前記交流電動機の回転方向及び速度を推定し直し、その回転方

向及び速度に相当する周波数を周波数調整回路に再設定して再始動することを特徴とする請求項 5 又は 6 記載の交流電動機のセンサレスベクトル制御装置。

8. 前記交流電動機に直流電流あるいは直流電圧を印加し、その時流れる二次電流から前記交流電動機の回転方向及び速度を推定し直す際に、

その速度の推定値は、前回推定した速度よりも設定した速度だけ下げた値または周波数調整回路の最終出力値が上限値となるように推定して、その推定値に相当する周波数を周波数調整回路に設定して始動することを特徴とする請求項 7 記載の交流電動機のセンサレスベクトル制御方法。

9. 交流電動機へ任意の電力を出力する電力変換器と、

前記交流電動機に供給される電流を検出する電流検出回路と

前記交流電動機に供給される電流を励磁電流検出値とトルク電流検出値に変換して出力する座標変換回路と、

前記励磁電流指令値と前記励磁電流検出値とが一致するように励磁電流方向電圧を制御する励磁電流制御回路と、

前記トルク電流指令値と前記トルク電流検出値とが一致するようにトルク電流方向電圧を制御するトルク電流制御回路と、

与えられた出力周波数指令から交流電動機の誘起電圧を演算する V/f 変換回路と、

与えられた出力周波数指令を積分することにより得られる位相角を演算する位相角演算回路と、

前記励磁電流制御回路と前記トルク電流制御回路と前記 V/f 変換回路から出力される電圧指令から出力電圧の大きさ及び位相を演算する出力電圧演算回路とを備え、

前記出力電圧演算回路から出力する電圧の大きさと位相に前記位相角演算回路から出力される位相角を加え、前記電力変換器のスイッチングを決定する制御方法で、かつそのための速度検出器と電圧検出器を持たない交流電動機のセンサレ

スペクトル制御方法であって、フリーラン状態の前記交流電動機の始動する際に、前記交流電動機に直流電流あるいは直流電圧を設定した時間だけ印加し、その時流れる二次電流から前記交流電動機の回転方向及び速度を推定し、その回転方向及び速度に相当する周波数を周波数調整回路に設定して始動し、周波数調整回路により出力周波数を前記交流電動機の速度と一致させる方法において、

直流電流あるいは直流電圧を印加する時間は、前記交流電動機の推定下限値あるいは二次回路時定数の設定値から演算される値の長い方を設定することとを特徴とする交流電動機のセンサレススペクトル制御方法。

10. 前記直流電流あるいは直流電圧印加する時間内に、二次電流の周波数が測定できない場合には、前記交流電動機が停止していると判断して、予め設定していた最低周波数または零周波数を周波数調整回路に入力することとを特徴とする請求項9記載の交流電動機のセンサレススペクトル制御方法。

11. 交流電動機へ任意の電力を出力する電力変換器と、
前記交流電動機に供給される電流を検出する電流検出回路と
前記交流電動機に供給される電流を励磁電流検出値とトルク電流検出値に変換して出力する座標変換回路と、

前記励磁電流指令値と前記励磁電流検出値とが一致するように励磁電流方向電圧を制御する励磁電流制御回路と、

前記トルク電流指令値と前記トルク電流検出値とが一致するようにトルク電流方向電圧を制御するトルク電流制御回路と、

与えられた出力周波数指令から交流電動機の誘起電圧を演算するV/f変換回路と、

与えられた出力周波数指令を積分することにより得られる位相角を演算する位相角演算回路と、

前記励磁電流制御回路と前記トルク電流制御回路と前記V/f変換回路から出力される電圧指令から出力電圧の大きさ及び位相を演算する出力電圧演算回路と

を備え、

前記出力電圧演算回路から出力する電圧の大きさと位相に前記位相角演算回路から出力される位相角を加え、前記電力変換器のスイッチングを決定する制御装置で、しかもそのための速度検出器と電圧検出器を持たない交流電動機のセンサレスベクトル制御装置であって、フリーラン状態の前記交流電動機の始動する際に、前記交流電動機に直流電流あるいは直流電圧を設定した時間だけ印加し、その時流れる二次電流から前記交流電動機の回転方向及び速度を推定し、その回転方向及び速度に相当する周波数を周波数調整回路に設定して始動し、周波数調整回路により出力周波数を前記交流電動機の速度と一致させる交流電動機のセンサレスベクトル制御装置において、

直流電流あるいは直流電圧を印加する時間は、前記交流電動機の推定下限値あるいは二次回路時定数の設定値から演算される値の長い方を設定することを特徴とする交流電動機のセンサレスベクトル制御装置。

12. 前記直流電流あるいは直流電圧印加する時間内に、二次電流の周波数が測定できない場合には、前記交流電動機が停止していると判断して、予め設定していた最低周波数または零周波数を周波数調整回路に入力することを特徴とする請求項11記載の交流電動機のセンサレスベクトル制御装置。

13. 交流電動機へ電力を出力する電力変換器を有し、電流指令信号と電力変換器の出力電流検出信号の偏差信号に基づいて電力変換器の出力電流を制御する電流制御部を備え、速度検出器と電圧検出器を持たない交流電動機制御方法であって、前記交流電動機がフリーラン状態にある場合に、前記交流電動機の電流をゼロにするように強制的に前記電流指令信号をゼロとして電流制御し、この時の前記電流制御部出力を用いて演算する出力電圧指令信号を基に前記交流電動機の残留電圧の大きさと位相および角速度を求め、フリーラン状態の前記交流電動機の回転方向及び速度を推定する交流電動機のセンサレスベクトル制御方法において、

フリーラン前の前記電力変換器の運転周波数及び前記交流電動機の二次回路時定数に応じて、前記電流指令信号をゼロとして電流制御を開始するまでの待ち時間を決定することを特徴とする交流電動機のセンサレスベクトル制御方法。

14. フリーラン前の前記電力変換器の運転周波数が任意に設定した周波数よりも低い場合には、前記電流指令信号をゼロとして電流制御を開始するまでの待ち時間をゼロに設定することを特徴とする請求項13に記載の交流電動機のセンサレスベクトル制御方法。

15. 前記交流電動機のセンサレスベクトル制御方法において、前記交流電動機の誘起電圧が大きく、前記交流電動機の電流をゼロに制御するのが困難な場合に、前記交流電動機の電流をゼロとする制御を停止し、任意に設定した時間電力変換器により、前記交流電動機の入力三相共短絡されるようなスイッチングを作ることにより、前記交流電動機に制動力を働かせ、前記交流電動機を減速させた後に再び、前記交流電動機の電流をゼロに制御し、フリーラン状態の前記交流電動機の回転方向及び速度を推定することを特徴とする請求項13または14記載の交流電動機のセンサレスベクトル制御方法。

16. 交流電動機へ電力を出力する電力変換器を有し、電流指令信号と電力変換器の出力電流検出信号の偏差信号に基づいて、電力変換器の出力電流を制御する電流制御部を備え、速度検出器と電圧検出器を持たない交流電動機のセンサレスベクトル制御装置であって、前記交流電動機がフリーラン状態にある場合に、前記交流電動機の電流をゼロにするように強制的に前記電流指令信号をゼロとして電流制御し、この時の前記電流制御部出力を用いて、演算する出力電圧指令信号を基に、前記交流電動機の残留電圧の大きさと位相および角速度を求めることにより、フリーラン状態の前記交流電動機の回転方向及び速度を推定する交流電動機のセンサレスベクトル制御装置において、

フリーラン前の前記電力変換器の運転周波数及び前記交流電動機の二次回路時

定数に応じて、前記電流指令信号をゼロとして電流制御を開始するまでの待ち時間を決定することを特徴とする交流電動機のセンサレスベクトル制御装置。

17. フリーラン前の前記電力変換器の運転周波数が任意に設定した周波数よりも低い場合には、前記電流指令信号をゼロとして電流制御を開始するまでの待ち時間をゼロに設定することを特徴とする請求項16記載の交流電動機のセンサレスベクトル制御装置。

18. 前記交流電動機のセンサレスベクトル制御装置において、前記交流電動機の誘起電圧が大きく、前記交流電動機の電流をゼロに制御するのが困難な場合に、前記交流電動機の電流をゼロとする制御を停止し、任意に設定した時間電力変換器により、前記交流電動機の入力三相共短絡されるようなスイッチングを作ることにより、前記交流電動機に制動力を働かせ、前記交流電動機を減速させた後に再び、前記交流電動機の電流をゼロに制御し、フリーラン状態の前記交流電動機の回転方向及び速度を推定することを特徴とする請求項16または17記載の交流電動機のセンサレスベクトル制御装置。

19. 交流電動機へ電力を出力する電力変換器を有し、電流指令信号と電力変換器の出力電流検出信号の偏差信号に基づいて電力変換器の出力電流を制御する電流制御部を備え、前記交流電動機がフリーラン状態にある場合に、前記交流電動機の電流をゼロにするように強制的に前記電流指令信号をゼロとして電流制御し、この時の前記電流制御部出力を用いて、演算する出力電圧指令信号に基づき、前記交流電動機の残留電圧の大きさと位相および角速度を求めることにより、フリーラン状態の前記交流電動機の回転方向及び速度を推定する速度検出器と電圧検出器の両方の検出器を備えない交流電動機のセンサレスベクトル制御方法において、

前記交流電動機の電流をゼロにする処理を行う時は、通常制御時よりも電流制御の処理のスキャン時間を短くすることを特徴とする交流電動機のセンサレスベ

クトル制御方法。

20. 前記交流電動機の電流をゼロにする処理を行う時は、通常制御時よりも電流制御の処理のスキャン時間を短くすると同時に、電力変換器のキャリア周波数を高くすることを特徴とする請求項19記載の交流電動機のセンサレスベクトル制御方法。

21. 交流電動機へ電力を出力する電力変換器を有し、電流指令信号と電力変換器の出力電流検出信号の偏差信号に基づいて、電力変換器の出力電流を制御する電流制御部を備え、前記交流電動機がフリーラン状態にある場合に、前記交流電動機の電流をゼロにするように強制的に前記電流指令信号をゼロとして電流制御し、この時の前記電流制御部出力を用いて、演算する出力電圧指令信号を基に、前記交流電動機の残留電圧の大きさと位相および角速度を求めることにより、フリーラン状態の前記交流電動機の回転方向及び速度を推定する速度検出器と電圧検出器の両方の検出器を備えない交流電動機のセンサレスベクトル制御装置において、

前記交流電動機の電流をゼロにする処理を行う時、通常制御時よりも電流制御の処理のスキャン時間を短くする手段を備えたことを特徴とする交流電動機のセンサレスベクトル制御装置。

22. 前記交流電動機の電流をゼロにする処理を行う時、通常制御時よりも電流制御の処理のスキャン時間を短くすると同時に、電力変換器のキャリア周波数を高くする手段を備えたことを特徴とする請求項21記載の交流電動機のセンサレスベクトル制御装置。

23. 交流電動機へ電力を出力する電力変換器を有し、電流指令信号と電力変換器の出力電流検出信号の偏差信号に基づいて、電力変換器の出力電流を制御する電流制御部を備え、前記交流電動機がフリーラン状態にある場合に、前記

交流電動機の電流をゼロにするように強制的に前記電流指令信号をゼロとして電流制御すると共にこの時の前記電流制御部出力を用いて、演算する出力電圧指令信号が任意に設定した電圧レベルよりも低い場合には、電流制御することをやめ、任意の方向に任意の大きさの直流電流指令を設定された時間印加し、その後前記直流電圧の指令方向と 180° 位相を変えた方向に任意の大きさの電流指令を与え、設定された時間再び電流制御し、速度推定回路が電流検出値に表れる周波数成分とその位相関係を検出し、この周波数成分を交流電動機の数と推定して、位相関係からその回転方向を推定する速度検出器と電圧検出器の両方の検出器を備えない交流電動機のセンサレスベクトル制御方法において、

前記交流電動機に直流電流指令を与え、前記交流電動機の数及び回転方向を推定している時、通常制御時よりも電流制御の処理のスキャン時間を短くすることを特徴とする交流電動機のセンサレスベクトル制御方法。

24. 前記交流電動機に直流電流指令を与え、前記交流電動機の数及び回転方向を推定している時は、通常制御時よりも電流制御の処理のスキャン時間を短くすると同時に、電力変換器のキャリア周波数を高くすることを特徴とする請求項23記載の交流電動機のセンサレスベクトル制御方法。

25. 前記交流電動機に直流電流指令を与え、前記交流電動機の数及び回転方向を推定している時、通常制御時よりも電流制御の処理のスキャン時間を短くすると同時に、通常制御時とは別の小さな電流も検出できるような感度の高い電流検出器を用いることを特徴とする請求項23または24記載の交流電動機のセンサレスベクトル制御方法。

26. 交流電動機へ電力を出力する電力変換器を有し、電流指令信号と電力変換器の出力電流検出信号の偏差信号に基づいて、電力変換器の出力電流を制御する電流制御部を備え、前記交流電動機がフリーラン状態にある場合に、前記交流電動機の電流をゼロにするように強制的に前記電流指令信号をゼロとして電

流制御すると共にこの時の前記電流制御部出力を用いて、演算する出力電圧指令信号が任意に設定した電圧レベルよりも低い場合には、電流制御することをやめ、任意の方向に任意の大きさの直流電流指令を設定された時間印加し、その後前記直流電圧の指令方向と 180° 位相を変えた方向に任意の大きさの電流指令を与え、設定された時間再び電流制御する。このとき、速度推定回路が電流検出値に表れる周波数成分とその位相関係を検出し、この周波数成分を交流電動機の手数と推定して、位相関係からその回轉方向を推定する速度検出器と電圧検出器の両方の検出器を備えない交流電動機のセンサレスベクトル制御装置において、

前記交流電動機に直流電流指令を与え、前記交流電動機の手数及び回轉方向を推定している時は、通常制御時よりも電流制御の処理のスキヤン時間を短くする手段を備えたことを特徴とする交流電動機のセンサレスベクトル制御装置。

27. 前記交流電動機に直流電流指令を与え、前記交流電動機の手数及び回轉方向を推定している時、通常制御時よりも電流制御の処理のスキヤン時間を短くすると同時に、電力変換器のキャリア周波数を高くする手段を備えたことを特徴とする請求項26記載の交流電動機のセンサレスベクトル制御装置。

28. 前記交流電動機に直流電流指令を与え、前記交流電動機の手数及び回轉方向を推定している時、通常制御時よりも電流制御の処理のスキヤン時間を短くすると同時に、通常制御時とは別の小さな電流も検出できる感度の高い電流検出器を備えたことを特徴とする請求項26または27記載の交流電動機のセンサレスベクトル制御装置。

図 2

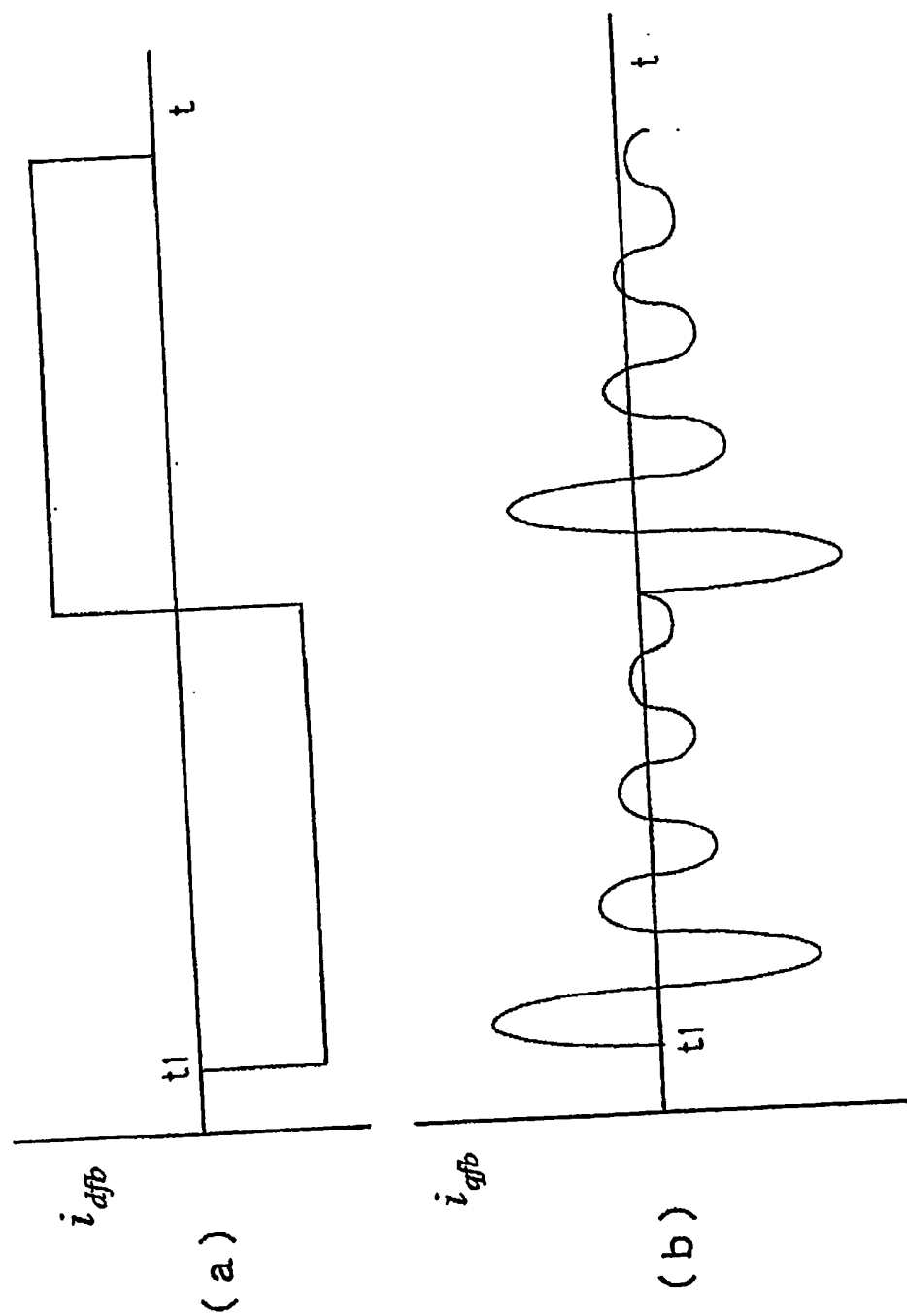


図 3

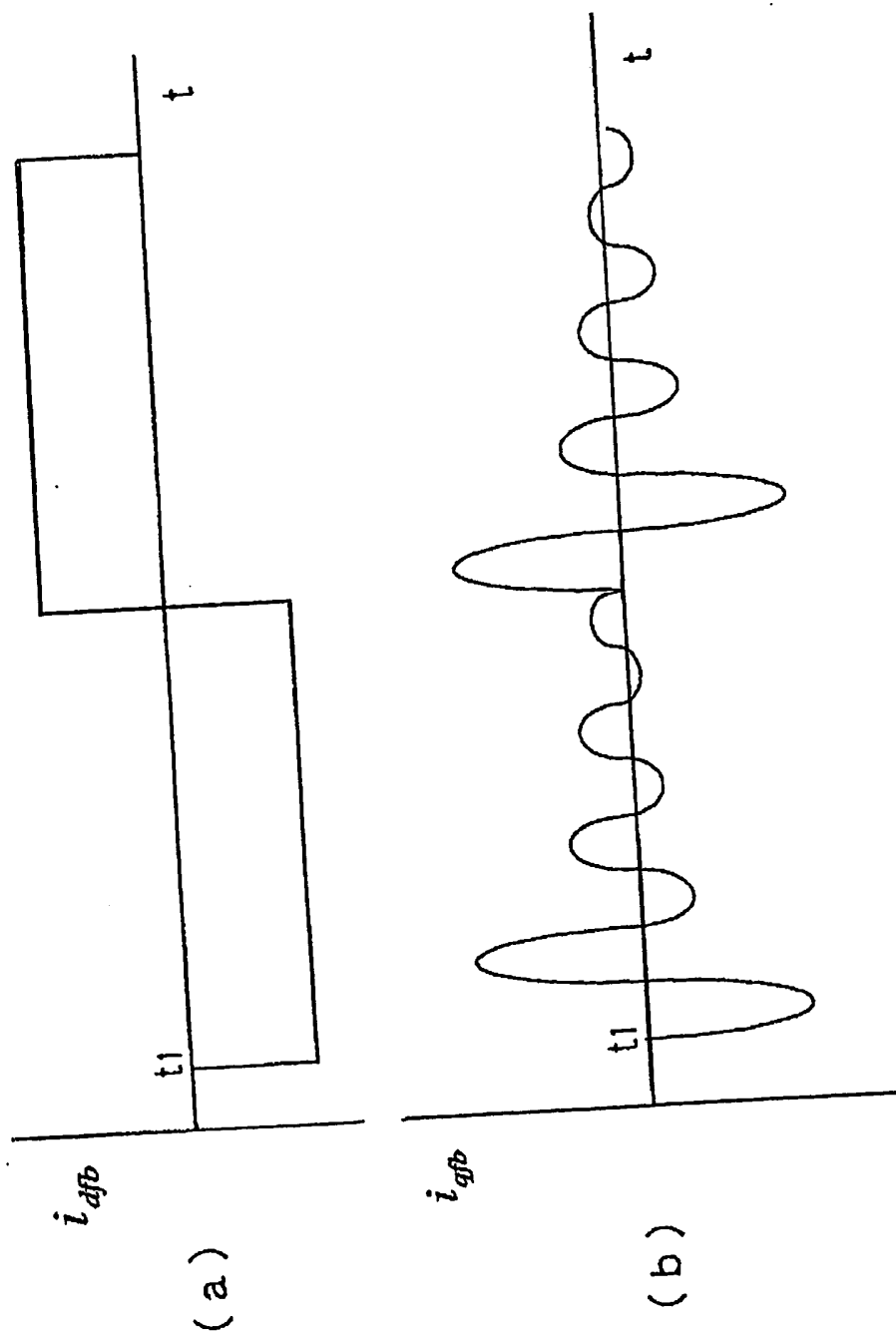


図 4

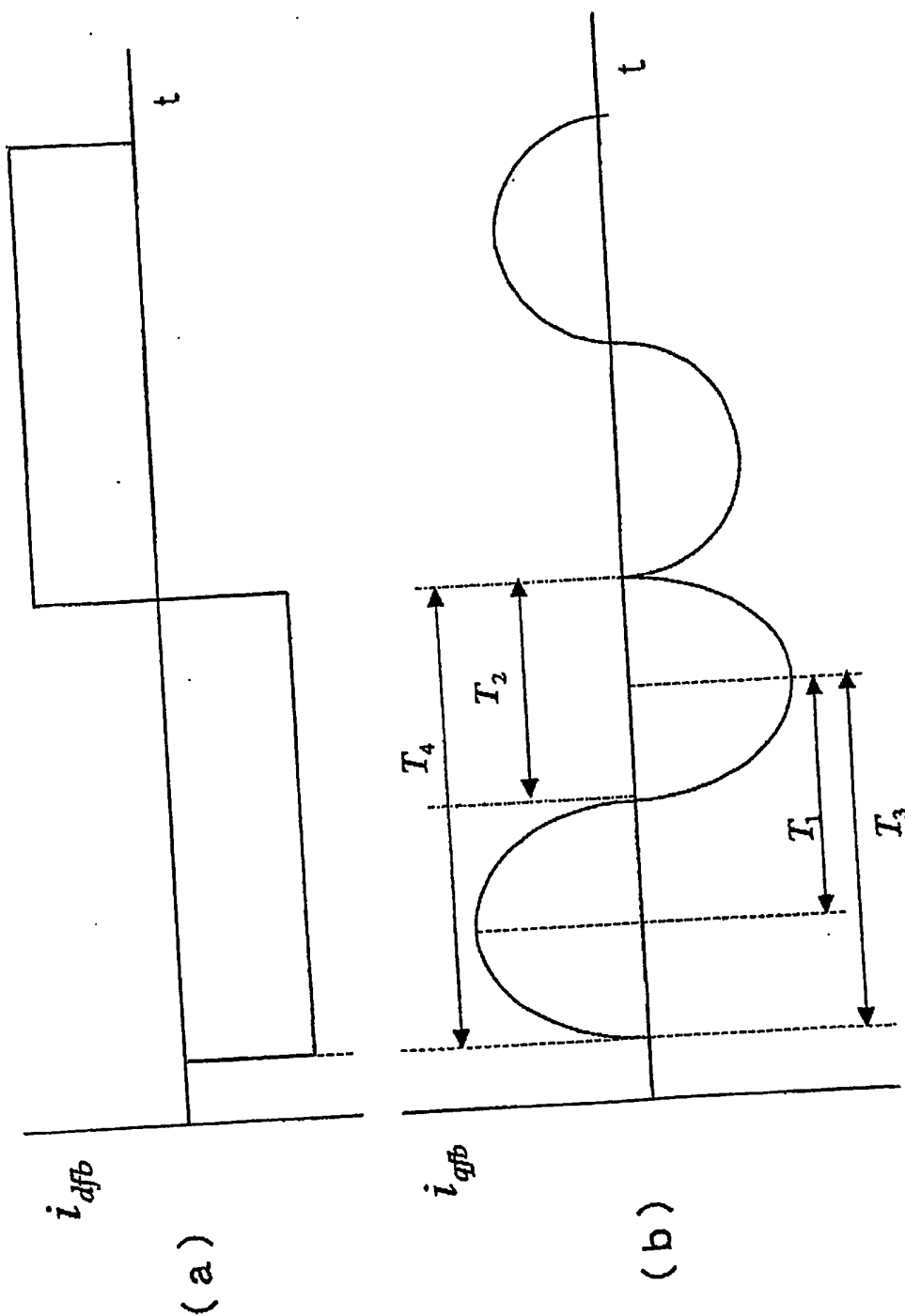


図 5

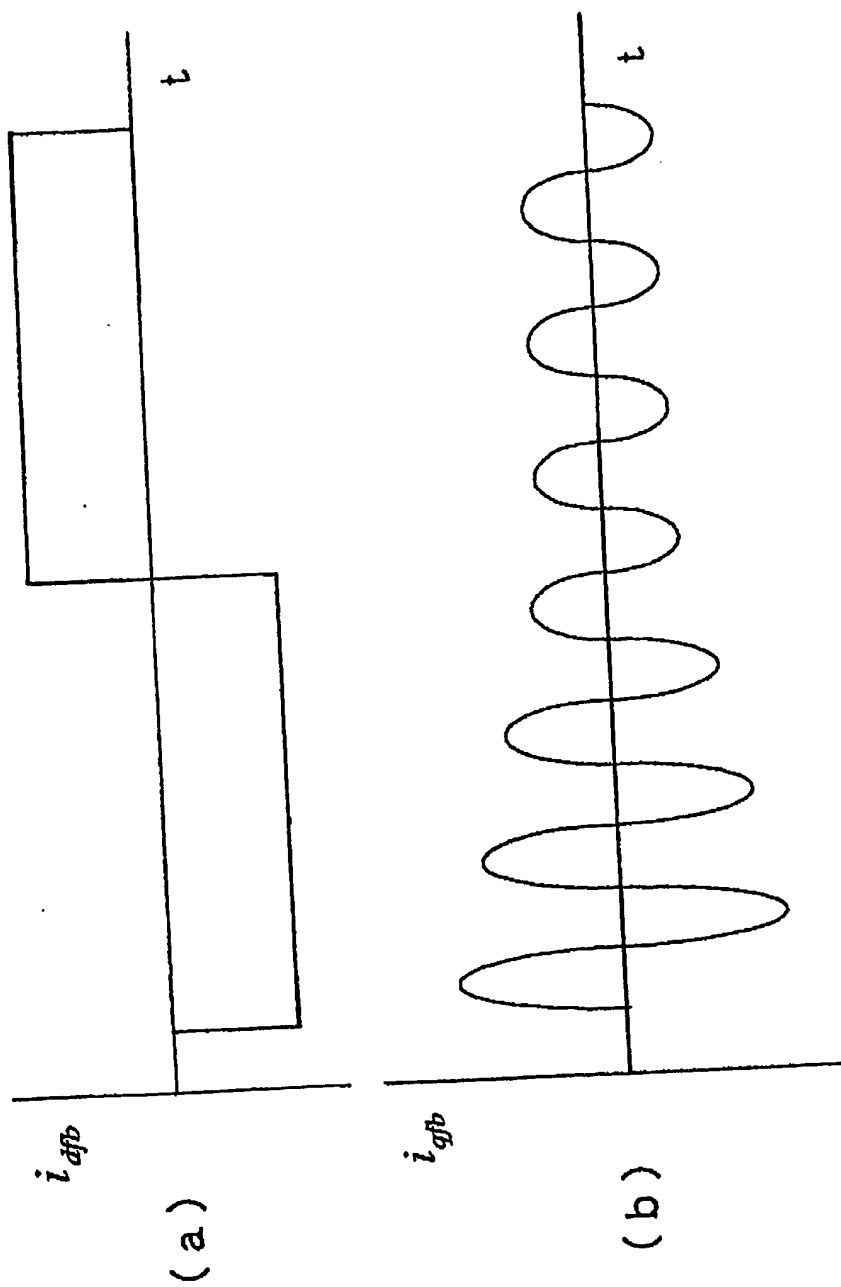


図 6

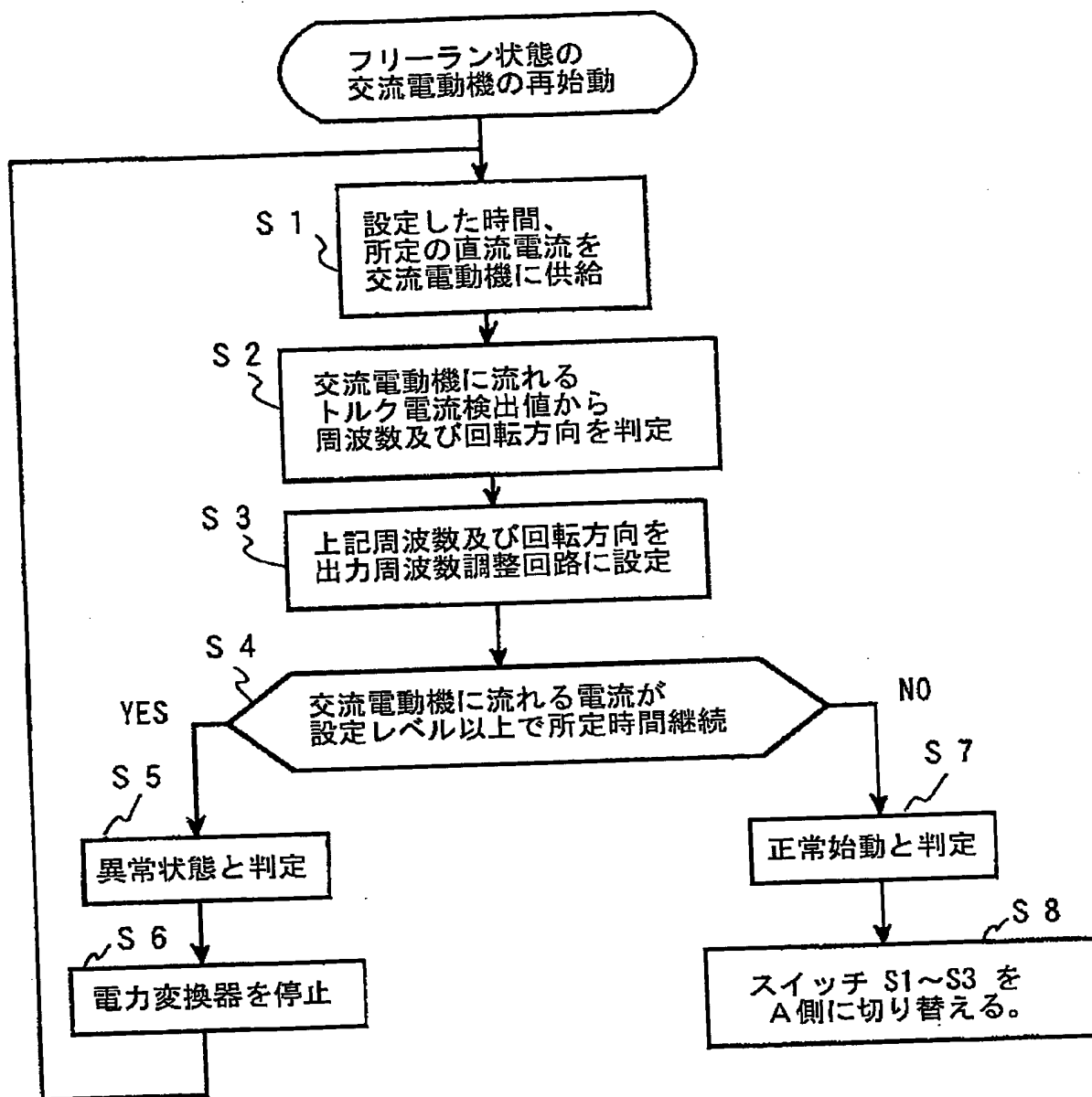


図 7

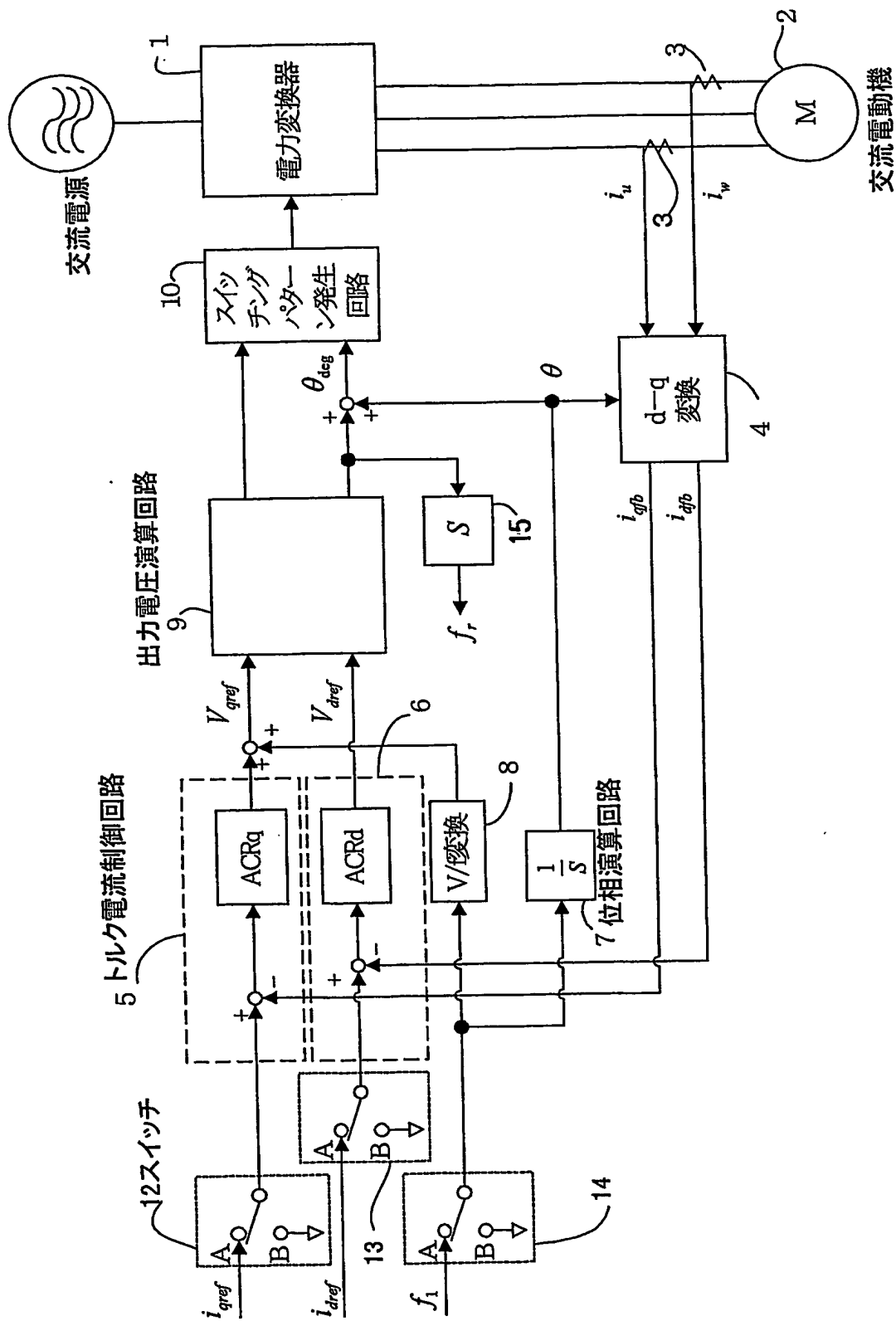


図 8

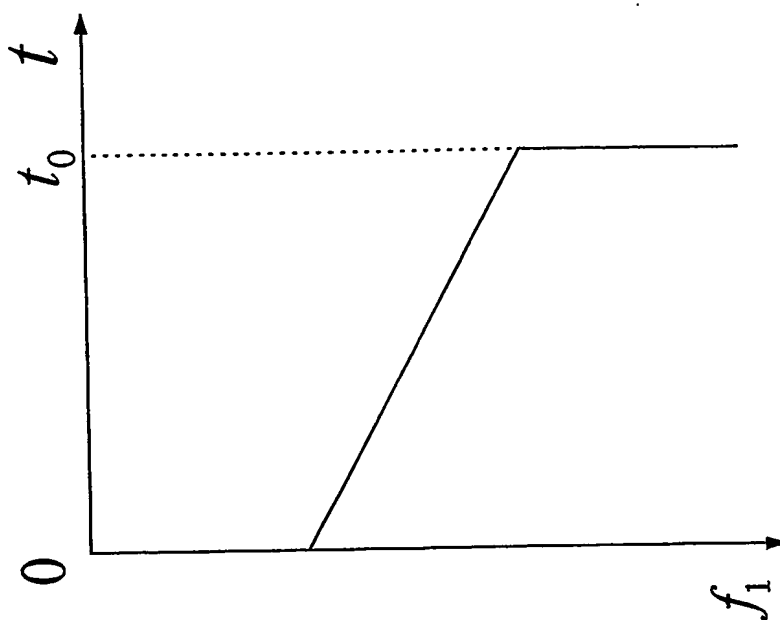


図 9

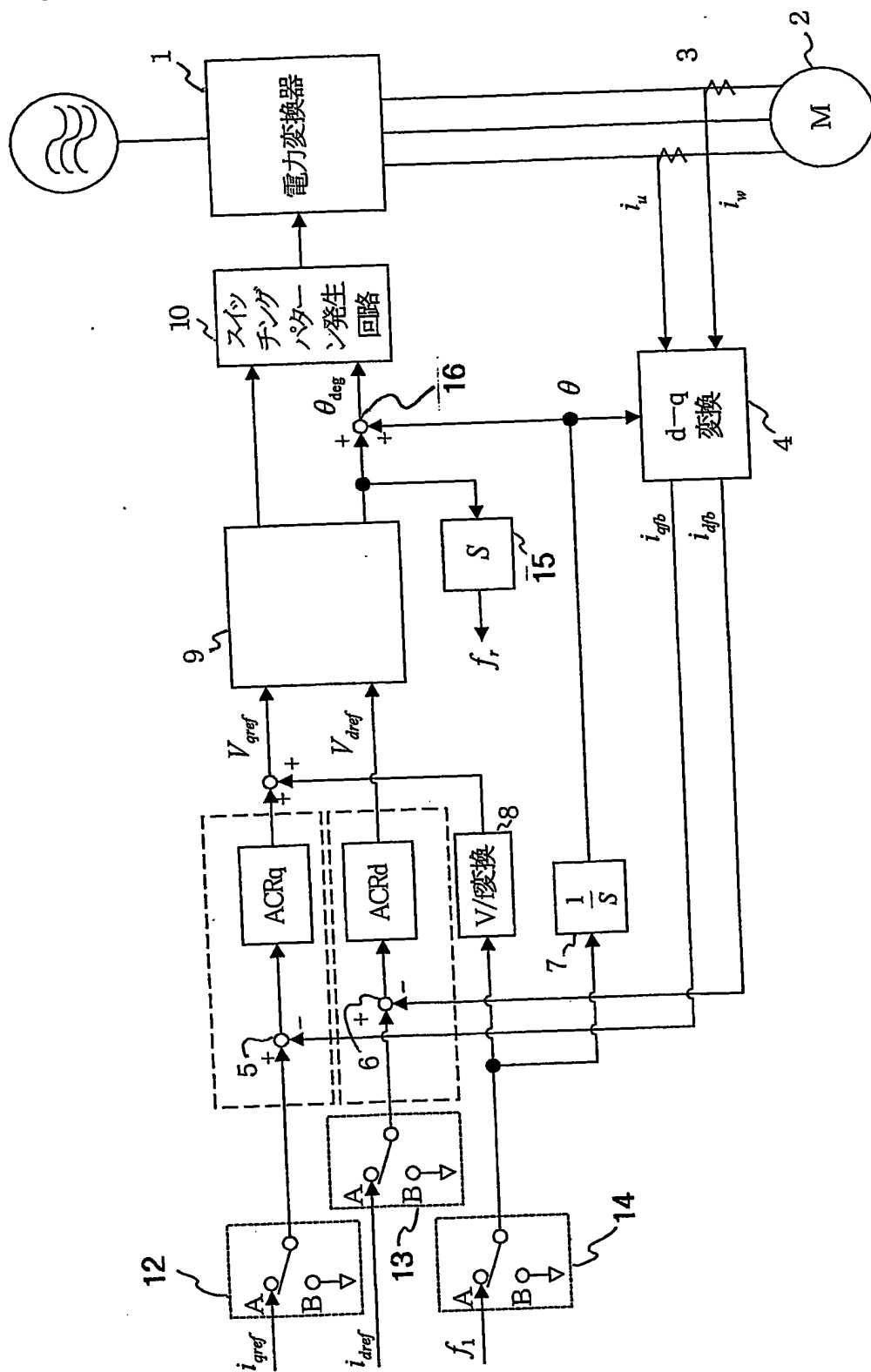


図 10

